



Nuno Tiago Duarte Proença Ângelo
Licenciado em Engenharia de Máquinas Marítimas

Projecto e Concepção de um Sistema Elevador Monta-cargas Industrial

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica,
Sistemas e Computadores

Orientador: Luís Filipe Figueira Brito Palma, Professor Auxiliar,
FCT/UNL

Co-orientador: João Almeida das Rosas, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Anikó Katalin Horváth da Costa

Arguente: Prof. Doutor João Francisco Alves Martins

Vogal: Prof. Doutor João Almeida das Rosas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro, 2016

Projecto e Concepção de um Sistema Elevador Monta-cargas Industrial

Copyright © Nuno Tiago Duarte Proença Ângelo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À memória do meu avô materno

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Luís Palma pela proposta deste tema e desafio, inédito, aliciante e ambicioso, assim como, pela orientação prestada e pelas significativas contribuições prestadas.

Ao meu co-orientador, Professor Doutor João Almeida das Rosas, pelas contribuições e sugestões dadas.

Ao Professor Doutor Jorge Pamies Teixeira do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial (DEMI) da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL) por ter facultado alguns dos meios para a construção de parte da estrutura mecânica do elevador.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho que culminou nesta dissertação.

Aos meus pais e irmã por todo o apoio e compreensão prestados ao longo deste percurso.

Por último, o meu agradecimento, sob a forma espiritual, aos meus avós maternos e avô paterno cuja dura jornada, enquanto vivos, me permitiram cingir de valores importantes para a vida e determinação para seguir em frente.

Resumo

Esta tese enquadra-se nas áreas de automação e controlo e tem como objectivo principal o projecto, construção, implementação e teste do sistema de controlo de um elevador do tipo monta-cargas de tracção eléctrica utilizando como cerne um automatismo. Para o efeito, foi necessário projectar e construir de raiz o referido elevador, dada a inexistência física do mesmo, do ponto de vista mecânico, eléctrico e de programação. O trabalho realizado foi efectuado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com material comprado por esta Faculdade e oferecido por empresas externas e pelo autor desta dissertação.

No trabalho de desenvolvimento, foi necessário especificar e implementar todas as componentes do elevador que agregam os níveis mecânico, eléctrico, de automação e *software*. Especificamente estes níveis incluem o sistema de elevação composto pela máquina de tracção, cabina, contrapeso, sensores de fim de curso, sensores de posição da cabina, botoneiras, contactores de sentido de movimento e relés do freio, o Controlador Lógico Programável e o Variador de Frequência.

O Controlador Lógico Programável recebe informação do processo e comanda o Variador de Frequência e o travão da máquina de tracção, enquanto o Variador comanda o motor eléctrico da máquina de tracção.

A implementação das linguagens de programação utilizadas no Controlador Lógico Programável estão descritas na norma IEC 61311-3 (*International Electrotechnical Commission - Programmable controllers Part 3: Programming languages*), sendo elas o Texto Estruturado, o Diagrama Funcional em Sequência e a Lista de Instruções.

Após programado o Controlador Lógico Programável e parametrizado o Variador de Frequência, os quais fazem parte da componente de controlo, isto é, o automatismo, foram efectuados os testes de funcionalidade e robustez a nível mecânico, eléctrico e de programação tendo sido alcançados com sucesso e estando em consonância com as especificações requeridas.

No futuro, este protótipo de elevador de tração eléctrica será utilizado por docentes e discentes para ensino, formação técnica e investigação nas áreas de automação, controlo e programação, sendo uma mais-valia para esta faculdade.

Palavras-chave: Elevador, Automação, Controlo, Controlador Lógico Programável, Variador Frequência.

Abstract

This dissertation fits in the automation and control areas and has as main aim the project, construction, implementation and test of the control system of an elevator of the type goods lift of electric traction using as kernel an automatism. For this purpose, it was necessary to design and construct from scratch the referred elevator, given the physical non-existence of the same, from the mechanic, electric and programming point of view. The executed work was done in the Faculdade de Ciências e Tecnologia of the Universidade Nova de Lisboa, with material purchased by this college and offered by external companies and by the author of this dissertation.

In the development work it was necessary to specify and implement all the elevator components which aggregate the mechanic, electric, automation and *software* levels. Specifically, these levels include the elevation system composed by traction machine, car, counterweight, end of travel sensors, car position sensors, pushbuttons, direction of movement contactors and relays of brake, and the Programmable Logic Controller and the Frequency Converter.

The Programmable Logic Controller receives information of the process and commands the Frequency Converter and the traction machine brake, while the Frequency Converter commands the traction machine electric motor.

The implementation of the programming languages used in the Programmable Logic Controller is described in the standard IEC 61311-3 (*International Electrotechnical Commission - Programmable controllers Part 3: Programming languages*), which includes the Structured Text, Sequential Function Chart and Instruction List.

After programmed the Programmable Logic Controller and parameterized the Frequency Converter, which are part of the control component, this is, the automatism, were the tests of functionality and robustness at mechanic, electric and programming level have been achieved with success and standing in consonance with the specifications required.

In the future, this prototype will be used by docents and students for teaching, technical graduation and research in the automation, control and programming areas, being a most value for this college.

Keywords: Elevator, Automation, Control, Programmable Logic Controller, Frequency Converter.

Índice de Matérias

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objectivos.....	2
1.3	Contribuições.....	3
1.4	Estrutura da Dissertação	4
2	Estado da Arte.....	5
2.1	Enquadramento Histórico.....	5
2.2	Definição de Elevador	7
2.3	Tipos de Elevadores	7
2.4	Anatomia do elevador eléctrico para transporte de pessoas (ascensor).....	17
2.4.1	Constituição e caracterização do elevador eléctrico	18
2.4.2	Funcionamento do Elevador de Tracção Eléctrica (ascensor)	36
2.5	Tecnologias de Controlo em Elevadores	36
2.5.1	Considerações sobre o circuito de potência do motor eléctrico de tracção.....	36
2.5.2	Tecnologia Electromagnética com Controlo por Relés.....	37
2.5.3	Tecnologia Electromagnética com Placa de Controlo	38
2.5.4	Tecnologia com Controlador Lógico Programável (PLC).....	39
2.6	Tipos de sensores e actuadores utilizados em elevadores	40
2.6.1	Tipos de sensores	40
2.6.2	Tipos de actuadores.....	41
2.7	Motor assíncrono trifásico.....	42
2.7.1	Constituição do motor assíncrono trifásico.....	42
2.7.2	Funcionamento do motor assíncrono trifásico	43
2.7.3	Variação da velocidade no motor assíncrono trifásico.....	43
2.8	Curvas típicas de funcionamento de um elevador eléctrico de transporte de pessoas.....	44
2.9	Controlador Lógico Programável	46
2.9.1	Arquitectura de um Controlador Lógico Programável.....	47
2.9.2	Vantagens do Controlador Lógico Programável.....	48
2.9.3	Classificação de um Controlador Lógico Programável.....	49
2.9.4	Funcionamento de um Controlador Lógico Programável.....	50
2.9.5	Programação de um Controlador Lógico Programável.....	52
2.10	Variador de Frequência, Arquitectura e Funcionamento.....	55
2.11	Legislação portuguesa	58
3	Arquitecturas Propostas e Tecnologias	61
3.1	Metodologia Proposta.....	61

3.2	Especificações do Processo e Automatismo	65
3.2.1	Especificações Correntes	66
3.2.2	Especificações Funcionais	66
3.2.3	Especificações Tecnológicas.....	67
3.2.4	Especificações Operacionais	68
3.3	Arquitecturas do Elevador	69
3.3.1	Componente mecânica do elevador	69
3.3.2	Controlador Lógico Programável TSX Micro 3721	70
3.3.3	Variador de Frequência OMRON V1000	74
3.3.4	Arquitectura de Alto Nível.....	79
3.3.5	Arquitectura de Baixo Nível	81
3.3.6	Tabela de Endereços do PLC TSX Micro 3721	85
3.3.7	Arquitecturas Conceptuais de Controlo de Posição/Velocidade.....	86
3.3.8	Arquitectura de <i>Software</i>	88
3.3.9	Diagramas de Grafcet do Protótipo de Elevador.....	91
3.3.10	Disposição dos ímans e fins-de-curso ao longo das guias e mudanças de velocidade	94
3.4	Implementação	98
3.4.1	Descrição do Protótipo.....	98
3.4.2	Esquemas de Circuitos Eléctricos/Interoperabilidade.....	114
3.4.3	Configuração do <i>Software</i> de Programação PL7 Junior	115
3.4.4	Especificação dos Códigos SFC/IL e ST implementados.....	120
4	Resultados Experimentais.....	135
4.1	Ensaio da Máquina de Tracção	135
4.1.1	Ensaio do Travão Electromecânico	135
4.1.2	Ensaio do Motor Assíncrono Trifásico.....	136
4.2	Ensaio durante a montagem.....	137
4.3	Ensaio de funcionamento.....	139
4.3.1	Ensaio com controlo manual.....	139
4.3.2	Ensaio com controlo automático	139
4.4	Manutenção	142
5	Conclusões	145
5.1	Síntese do Trabalho Efectuado.....	145
5.2	Resultados Obtidos.....	145
5.3	Trabalho Futuro	146
6	Bibliografia	151
	Anexo A - Inversor Motor Assíncrono Trifásico	155

Apêndice A - Memórias utilizadas, palavras internas e de sistema e temporizador de pulso.	157
Apêndice B - Interação entre todas as variáveis.....	159
Apêndice C - Códigos implementados em SFC/IL e ST.....	161
Apêndice D - Projecto Mecânico	171
Apêndice E – Estrutura autoportante	177
Apêndice F - Esquemas de Circuitos Eléctricos do Protótipo de Monta-cargas	179

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Elevadores de transporte de pessoas (ascensores)	7
Figura 2.2 – Casa da máquina em cima: (a) Vista geral; (b) Disposição dos elementos no interior..	9
Figura 2.3 – Casa da máquina em baixo	9
Figura 2.4 – Sem casa da máquina: (a) Vista geral; (b) Disposição dos elementos no interior.	10
Figura 2.5 – Ângulo de abraçamento à roda, α	11
Figura 2.6 – Gorne em U subtalhado ou semi-circular	11
Figura 2.7 – Gorne em V	11
Figura 2.8 – Elevador de roda de aderência: (a) Vista lateral; (b) Vista de topo.	11
Figura 2.9 – Elevador de tambor de enrolamento: (a); (b); (c); (d).....	12
Figura 2.10 – Elevador de tambor com cintas de suspensão	12
Figura 2.11 – Cinta de suspensão	12
Figura 2.12 – Máquina com caixa redutora: (a) Motor e sem-fim verticais; (b) Motor e sem-fim horizontais.	14
Figura 2.13 – Volante de inércia/ventilador: (a); (b).....	14
Figura 2.14 – Travão electromecânico: (a) Conjunto; (b) Maxila.....	15
Figura 2.15 – Máquina sem caixa redutora	16
Figura 2.16 – Suspensão directa 1:1	17
Figura 2.17 – Suspensão diferencial 2:1	17
Figura 2.18 – Suspensão diferencial 4:1	17
Figura 2.19 – Ascensor de tracção eléctrica.....	19
Figura 2.20 – Quadro eléctrico de entrada	20
Figura 2.21 – Iluminação da casa da(s) máquina(s) e iluminação de emergência	20
Figura 2.22 – Quadro de comando, controlo ou manobra.....	21
Figura 2.23 – Sensor de baixa temperatura e sensor de alta temperatura da casa da máquina.....	21
Figura 2.24 – Cabos de suspensão e coeficiente de segurança.....	25
Figura 2.25– Limitador de velocidade com uma massa centrífuga.....	26
Figura 2.26 – Limitador de velocidade com duas massas centrífugas	26
Figura 2.27 – Pára-quedas com sistema de cunha.....	28
Figura 2.28 – Pára-quedas com sistema de rolete	28
Figura 2.29 – Dispositivo eléctrico do pára-quedas	28
Figura 2.30 – Interior da caixa: cabo limitador do contrapeso; cabos de suspensão; cabo limitador da cabina.....	28
Figura 2.31 – Roda tensora	29
Figura 2.32 – Cabo limitador contrapeso: sistema de amarração ao pára-quedas.....	29

Figura 2.33 – Thyssen Twin.....	36
Figura 2.34 – Circuito Potência Elevador Duas Velocidades	38
Figura 2.35 – Motor Assíncrono Trifásico	42
Figura 2.36 – Sistema de paragem de um elevador de uma velocidade.....	45
Figura 2.37 – Curva típica de movimento de um elevador de uma velocidade	45
Figura 2.38 – Curva típica de movimento de um elevador com variador de frequência.....	46
Figura 2.39 – Estrutura básica de um PLC.....	47
Figura 2.40 – PLC Compacto.....	49
Figura 2.41 – PLC Modular	49
Figura 2.42 – Tempo de ciclo de um PLC.....	51
Figura 2.43 – Exemplo de um programa em Linguagem LD.....	53
Figura 2.44 – Exemplo de um programa em Linguagem IL	53
Figura 2.45 – Exemplo de um programa em linguagem SFC	54
Figura 2.46 – Exemplo de um programa em Linguagem FBD	55
Figura 2.47 – Exemplo de um programa em Linguagem ST	55
Figura 2.48 – Blocos componentes de um variador de frequência.....	56
Figura 2.49 – Diagrama esquemático do circuito do bloco de potência de um variador frequência	57
Figura 2.50 – Formas de onda de tensão e de corrente na saída do variador de frequência.....	58
Figura 3.1 – Fases de desenvolvimento do projecto.....	62
Figura 3.2 – Visão Conceptual do Sistema Monta-cargas Industrial	63
Figura 3.3 – Estrutura autoportante com guias, cabina e contrapeso.	69
Figura 3.4 – Controlador Lógico Programável TSX Micro 3721.	70
Figura 3.5 – Controlador lógico programável TSX Micro 3721 e pontos característicos.....	72
Figura 3.6 – PLC base e extensão com módulos 1 a 6.....	73
Figura 3.7 – Localização do módulo DMZ 28DR nas posições 1 e 2.....	73
Figura 3.8 – Endereçamento de entradas/saídas.....	73
Figura 3.9 – Visor do TSX Micro 3721	74
Figura 3.10 – Circuito principal e circuito de controlo do OMRON V1000.....	76
Figura 3.11 – Arquitectura de Alto Nível	79
Figura 3.12 – Arquitectura de Baixo Nível.	82
Figura 3.13 – Arquitectura Conceptual de Controlo de Posição/Velocidade pelo Automatismo	87
Figura 3.14 – Arquitectura Conceptual de Controlo de Posição/Velocidade pelo Utilizador.....	88
Figura 3.15 – Arquitectura de <i>Software</i>	90
Figura 3.16 – Grafcet Principal (Page 0) e Grafcet da Sequência de Funcionamento 1 (Page 1). ...	93
Figura 3.17 – Grafcet da Sequência de Funcionamento 2 (Page 2).	94

Figura 3.18 – Disposição dos ímans e fins-de-curso ao longo das guias: mudanças de velocidade para a Sequência de Funcionamento 1	96
Figura 3.19 – Disposição dos ímans e fins-de-curso ao longo das guias: mudanças de velocidade para a Sequência de Funcionamento 2	97
Figura 3.20 – Protótipo de elevador monta-cargas: processo e automatismo (fase de testes).....	99
Figura 3.21 – Máquina de Tracção.....	100
Figura 3.22 – Cabina	100
Figura 3.23 – Contrapeso; respectiva mola; Fim de Curso Superior.	101
Figura 3.24 – Órgãos de suspensão	101
Figura 3.25 – Guias e sistema de fixação	102
Figura 3.26 – Amortecedores	102
Figura 3.27 – Cabo flexível.....	103
Figura 3.28 – Interruptor diferencial trifásico (direita) e disjuntor trifásico (esquerda).....	104
Figura 3.29 – Disjuntores monofásicos: Transformador (esquerda); Fonte de Tensão de Alimentação (centro); PLC (direita).	104
Figura 3.30 – Fonte de Tensão de Alimentação	104
Figura 3.31 – Variador de Frequência OMRON V1000	106
Figura 3.32 – Transformador (direita); Ponte Rectificadora (centro); Fusível Freio (esquerda). ..	106
Figura 3.33 – Botoneira de reset e escolha de sequência	107
Figura 3.34 – Botoneira de paragem de emergência	107
Figura 3.35 – Fim de Curso Inferior.....	108
Figura 3.36 – Sensores AF e AT (esquerda); BF e BT (direita).....	109
Figura 3.37 – Sensores AF e AT e respectivos ímans	109
Figura 3.38 – Sensor BF e respectivos ímans e sensor BT.....	109
Figura 3.39 – Sensores e disposição do ímans ao longo das guias.....	111
Figura 3.40 – Relé auxiliar (esquerda); contactor descida (centro); contactor subida (direita).....	112
Figura 3.41 – Relés do freio electromecânico	113
Figura 3.42 – Fusíveis (esquerda); Régua de Bornes (direita).	113
Figura 3.43 – Quadro eléctrico (fase de testes)	114
Figura 3.44 – Selecção do PLC TSX Micro 3721 v5.0 e do Grafcet	117
Figura 3.45 – Estrutura do programa em PL7 do PLC TSX Micro 3721 do protótipo de elevador monta-cargas	118
Figura 3.46 – Configuração dos módulos de hardware em PL7	119
Figura 3.47 – Ordem conforme os processos são efectuados.....	121
Figura 3.48 – Reposição (reset) ou cabina no patamar P0	123

Figura 3.49 – Cabina fora do patamar P0.....	124
Figura 3.50 – Cabina no FCI ou fora deste; temporização de 4 segundos; cabina em P0.....	124
Figura 3.51 – Memória MW5 e memorização da sequência de funcionamento	124
Figura 3.52 – Ligação do diagrama Principal ao diagrama de Sequência de Funcionamento 1 e diagrama de Sequência de Funcionamento 2	125
Figura 3.53 – Transposição do grafo do diagrama Principal para o grafo do diagrama da Sequência de Funcionamento 1	126
Figura 3.54 – Memória MW5 e cabina no patamar P0	126
Figura 3.55 – Detecção flanco descendente pelo sensor AT e mudança para velocidade rápida...	126
Figura 3.56 – Desaceleração à subida; chegada a P1.	126
Figura 3.57 – Memória MW5 e cabina no patamar P1	126
Figura 3.58 – Temporização de 4 segundos em P1	126
Figura 3.59 – Detecção de flanco descendente pelo sensor AF e mudança para a velocidade rápida	127
Figura 3.60 – Desaceleração à descida antes de chegar ao patamar P0	127
Figura 3.61 – Chegada da cabina ao patamar P0; cabina em P0.....	127
Figura 3.62 – Evolução do diagrama da Sequência de Funcionamento 1 para a etapa 8 do diagrama Principal	127
Figura 3.63 – Transposição do grafo do diagrama Principal para o grafo do diagrama da Sequência de Funcionamento 2	128
Figura 3.64 – Desaceleração à subida antes de chegar ao patamar P2	128
Figura 3.65 – Chegada da cabina ao patamar P2.....	128
Figura 3.66 – Memória MW5 e cabina no patamar P2	128
Figura 3.67 – Desaceleração à descida antes de chegar ao patamar P1	128
Figura 3.68 – Evolução do diagrama da Sequência de Funcionamento 2 para a etapa 8 do diagrama Principal	129
Figura 4.1 – Duas fontes de tensão contínua em série	136
Figura 4.2 – Alimentação da bobina do travão electromecânico com duas fontes de tensão contínua em série	136
Figura 4.3 – Interruptor magnético monoestável	137
Figura 4.4 – Biestável da frente e respectivos ímans	138
Figura 4.5 – Biestável de trás e respectivos ímans.....	138
Figura 4.6 – Tabela de animação com a cabina no patamar P0.....	140

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Elevador eléctrico: Velocidades nominais.	17
Tabela 3.1 – Endereços de Ligação de Entradas/Saídas do PLC TSX Micro 3721	86

Simbologia

	Descrição	Unidades
d	Deslocamento	m
d_{nominal}	Diâmetro nominal do cabo	mm ²
f	Frequência eléctrica	Hz
F	Carga de rotura mínima ou força de rotura mínima de um cabo	N
i	Intensidade de corrente eléctrica	A
i_{cx}	Relação da caixa redutora de velocidade	Adimensional
N_m	Velocidade de rotação do motor	r.p.m. ou rad/s
N_r	Velocidade do rotor	r.p.m.
N_s	Velocidade de sincronismo ou do campo magnético girante do estator	r.p.m.
N_{scx}	Velocidade de rotação à saída da caixa redutora	r.p.m. ou rad/s
p	Número de pares de pólos	Adimensional
r	Raio	m
s	Escorregamento	%
S_f	Coefficiente de segurança do tipo de construção do cabo	Adimensional
t	Tempo	s
$\sigma_{\text{axial nominal}}$	Resistência nominal de tracção dos fios	N/mm ²
V	Tensão eléctrica	V
v	Velocidade nominal do elevador ou cabina	m/s
ω	Velocidade angular	rad/s
ω_r	Velocidade angular do motor	rad/s
ω_{scx}	Velocidade angular à saída da caixa redutora	rad/s

Notações

A.C.	Antes de Cristo
AC	Alternate Current (Corrente Alternada)
AF	Ampola da Frente
AT	Ampola de Trás
B0	Botão de Rearme (<i>Reset</i>)
B1	Botão Selecção Patamar 1
B2	Botão Selecção Patamar 2
BF	Biestável da Frente
BT	Biestável de Trás
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEN	Comité Europeu de Normalização
CPU	Unidade Central de Processamento (<i>Central Processing Unit</i>)
DC	Direct Current (Corrente Contínua)
DEE	Departamento de Engenharia Electrotécnica
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia
DSC	Controlo de Selecção de Destino (<i>Destination Selection Control</i>)
EEPROM	Memória essencialmente de leitura, apagável por um processo eléctrico (<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>)
EPROM	Memória essencialmente de leitura, apagável por um processo físico (<i>Erasable Programmable Read Only Memory</i>)
FBD	Linguagem em Blocos de Funções (Function Block Diagram)
FCI	Fim de Curso Inferior
FCS	Fim de Curso Superior
FCT/UNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Nova de Lisboa
GRAFCET	Gráfico Funcional de Comando Etapa Transição (<i>Graphe Fonctionnel de Commande Étape Transition</i>)
HMI	Interface Homem-Máquina (<i>Human-Machine Interface</i>)
IEC (CEI)	International Electrotechnical Commission (<i>Comissão Electrotécnica Internacional</i>)
IGBT	Dispositivo de Comutação Electrónica Controlado por Tensão (<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>)
IL	Linguagem em Lista de Instruções (<i>Instruction List</i>)
IWRC	Independent Wire Rope Core
KD	Contacto de Descida (na Arquitectura de Alto Nível)
KS	Contacto de Subida (na Arquitectura de Alto Nível)
KM0	Relé de Descida (no PLC) ou Contactor de Descida (no Esquema de Circuitos Eléctricos)
KM1	Relé de Subida (no PLC) ou Contactor de Subida (no Esquema de Circuitos Eléctricos)
KF1	Relé do Freio 1 (na Arquitectura de Alto Nível)
KF2	Relé do Freio 2 (na Arquitectura de Alto Nível)
KF2	Relé do Freio 1 (no Esquema de Circuitos Eléctricos)
KF3	Relé do Freio 2 (no Esquema de Circuitos Eléctricos)
LD	Linguagem em Diagrama de Contactos (<i>Ladder Diagram</i>)
NA	Contacto Normalmente Aberto
NC	Normally Closed (Contacto Normalmente Fechado)
NF	Contacto Normalmente Fechado
NO	Normally Open (Contacto Normalmente Aberto)
PE	Paragem de Emergência
PID	Controlador que utiliza uma acção Proporcional, Integral e Derivativa para sistemas de controlo
PL7	<i>Software</i> de programação de autómatos <i>Schneider Electric</i> (<i>Telemecanique</i>)
PLC	Autómato Programável, Controlador Lógico Programável (<i>Programmable Logic</i>)

	<i>Controller</i>)
Prl	Tratamento Preliminar
Post	Tratamento Posterior
PTC	Coeficiente de Temperatura Positivo (<i>Positive Temperature Coefficient</i>)
PWM	Modulação de Largura de Impulso (<i>Pulse With Modulation</i>)
SFC	Diagrama Funcional em Sequência (<i>Sequential Function Chart</i>)
ST	Linguagem Literal Estruturada, Texto Estruturado (<i>Structured Text</i>)
TWIN	Sistema da ThyssenKrupp com dois elevadores independentes instalados na mesma caixa
VF	Variador de Frequência

1 Introdução

Esta dissertação irá descrever o projecto, construção, implementação e teste do sistema de controlo de um elevador de tracção eléctrica através de um automatismo. Para o efeito projectou-se e construiu-se a instalação mecânica e eléctrica de um elevador com características semelhantes às de um elevador à escala real. Depois, procedeu-se à integração da componente eléctrica do elevador com a respectiva componente de controlo utilizando-se para o efeito como cerne do automatismo um controlador lógico programável (PLC) e um variador de frequência (VF). A componente de controlo respeitante ao PLC foi posteriormente programada e o variador de frequência parametrizado para o sistema ter o funcionamento de um elevador. No futuro este protótipo será utilizado para ensino, formação técnica e investigação nas áreas de automação e controlo.

1.1 Motivação

Os sistemas de elevação são um exemplo da evolução e do progresso tecnológico do Homem desde os primórdios em que houve necessidade de efectuar poços de extracção de água, assim como da construção das grandes pirâmides egípcias até aos arranha-céus dos dias de hoje, conforme mencionado em (Mitsubishi Electric, 2016c). Actualmente, os elevadores são uma componente essencial para edifícios de habitação, de serviços, hospitalares e industriais. Devido ao preço do metro quadro ser cada vez mais caro, surgiu a necessidade de aumentar os edifícios em altura, nomeadamente os edifícios habitacionais e de serviços com vários escritórios, os quais a nível global, cada vez mais possuem um número de andares em constante crescimento, ultrapassando a uma centena, como é o caso dos edifícios *Burj Khalifa* no Dubai nos Emirados Árabes Unidos, *Shanghai Tower* em Shanghai na China e *One World Trade Center* em *New York* nos Estados Unidos da América de acordo com (Burj Mohammed Bin, 2016). Ao nível industrial, conforme mencionado em (Autostadt, 2014), é de salientar as duas *Car Towers* da *Volkswagen* na *Autostadt* em *Wolfsburg* na Alemanha cuja cada torre armazena até 400 carros, em que cada torre tem dois elevadores em cuja plataforma é transportada o carro e armazenado no respectivo silo, em que cada elevador e respectiva plataforma servem 180° do silo.

Esta dinâmica implica a consideração de novas exigências e requisitos mais complexos na construção de sistema elevatórios. Essas exigências, como por exemplo, uma maior capacidade de transporte de carga a maior velocidade tendo em conta o efeito do vento nos edifícios (Robert Caporale, 2016) e implementação de medidas anti-sísmicas conforme mencionado em (Mitsubishi Electric, 2016a) requerem a investigação de novas soluções mais adequadas. Isso por sua vez, requer a disponibilidade de sistemas elevatórios que possam ser usados durante as fases de investigação e projecto de novos elevadores. Adicionalmente, muito do *know-how* na área dos elevadores encontra-se

protegido dentro de algumas multi-nacionais, não sendo facilmente acessível. Existindo todas estas restrições, é então importante disponibilizar sistemas que permitem efectuar estes estudos e obter o *know-how* respectivo. Por estes motivos, procedeu-se ao projecto e implementação de um protótipo de elevador. Este protótipo vai ser construído de forma a poder ser utilizado em vários cenários de aplicação. Esses cenários incluem a utilização do protótipo para testar novos paradigmas de controlo actualmente em investigação.

Mercê das novas exigências do mercado, este protótipo também vai servir para implementar e satisfazer novas especificações. Adicionalmente, o protótipo fica também disponível para as actividades de formação, portanto, contribuindo para uma melhor aprendizagem de automação em geral, e controlo de elevadores em particular.

1.2 Objectivos

O principal objectivo deste trabalho, consiste no projecto e construção de um protótipo de elevador monta-cargas de tracção eléctrica, com três níveis de patamar distintos. Embora reduzido em escala, este elevador terá uma constituição e comportamento similar a elevadores reais. A construção de um elevador é uma actividade que envolve a combinação de várias áreas de engenharia, nomeadamente, a Civil (no caso da existência de caixa em alvenaria), a Mecânica, a Electrotécnica e a Informática, ou seja, este é um trabalho de grandes desafios. Por este motivo, os objectivos deste trabalho são múltiplos e variados, envolvendo a combinação dos conceitos das áreas atrás referidas, caracterizando este trabalho como significativamente complexo. Concretamente, este esforço envolveu integração das diversas componentes mecânicas, eléctricas, de controlo e de programação subjacentes à construção do elevador proposto.

Em termos concretos, os objectivos a atingir com este trabalho são os seguintes:

- Estudo aprofundado do conceito de elevador, características técnicas, especificações de funcionamento, utilização e controlo. Isto inclui o estudo da legislação relevante para instalações de elevação, nomeadamente elevadores de transporte de pessoas e/ou carga.
- Projectar, construir, implementar e testar um protótipo de um elevador monta-cargas de tracção eléctrica com automatismo que serve três níveis de patamar definidos.
- Projectar e construir a estrutura metálica autoportante que alberga todos os componentes mecânicos e eléctricos do protótipo de elevador, nomeadamente o sistema de elevação electromecânico que inclui a cabina, contrapeso, máquina de tracção, quadro eléctrico e outros componentes eléctricos.
- Proceder ao projecto e instalação da componente eléctrica, que vai incluir os botões de interacção com o utilizador, os sensores, os actuadores (contactores e relés do circuito de comando), motor trifásico de tracção e electroímã do travão pertencentes à máquina de tracção.

- Projectar e instalar a componente de controlo do elevador, que será feita, recorrendo à utilização de um controlador lógico programável e variador de frequência.
- Programar o funcionamento do elevador, recorrendo a diversas linguagens de programação, que serão postas em funcionamento dentro do PLC colocado na componente de controlo.

1.3 Contribuições

O principal contributo deste trabalho é, conforme já referido na secção 1.2, a obtenção de um protótipo de um elevador monta-cargas que fica disponível no laboratório da FCT/UNL¹, para ser utilizado em diversas actividades de investigação e formação/treino. Mais concretamente, estes contributos são os seguintes:

- Projecto e implementação de um elevador monta-cargas à escala laboratorial com especificações reais, segundo a actual legislação portuguesa em vigor.
- Disponibilização de uma plataforma de controlo que permite testar novas estratégias de gestão e de controlo de elevadores protótipo para tarefas de investigação.
- Projecto do automatismo com controlador lógico programável e variador de frequência utilizando programação concorrente nas linguagens Diagrama Funcional em Sequência/Lista de Instruções (SFC/IL) e Texto Estruturado (ST).
- A componente de controlo baseada em PLC fica disponível para se poder programar o sistema nas diversas linguagens de programação do PLC, nomeadamente Linguagem em Diagrama de Contactos (LD), Lista de Instruções (IL), Diagrama Funcional em Sequência (SFC) que corresponde à implementação prática do Grafcet e Texto Estruturado (ST).
- No futuro, o protótipo será utilizado localmente ou remotamente para ensino, formação técnica e investigação nas áreas de automação e controlo e aprendizagem do funcionamento de elevadores, sendo uma contribuição para a melhoria do ensino no Departamento de Engenharia Electrotécnica da FCT/UNL.

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia / Universidade Nova de Lisboa

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo eles:

1. Introdução;
2. Estado da Arte;
3. Arquitecturas Propostas e Tecnologias;
4. Resultados Experimentais;
5. Conclusões.

O capítulo 1 foi dedicado para introduzir o tema, a motivação para este trabalho e os respectivos objectivos, contribuições e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 é dedicado ao estudo do estado da arte, que começa com um enquadramento histórico do tema, explora de uma forma abrangente os conceitos fundamentais na área dos elevadores ao nível mecânico, eléctrico e de controlo nomeadamente, as tecnologias de controlo. Este capítulo faz também uma breve referência à legislação que é determinante para a montagem e operação dos elevadores. Desde já se refere que, dada a complexidade da área dos elevadores, em que é necessário tomar em consideração os diversos critérios de regulamentação, construção, regulação e operação, esta exposição dos conceitos relevantes será eventualmente muito extensa. Apesar do esforço para sintetizar os conteúdos, este capítulo será necessariamente mais extenso.

No capítulo 3 é descrita a metodologia proposta, são estabelecidas as especificações do elevador a desenvolver, assim como, as várias arquitecturas do sistema e respectivas implementações.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação dos resultados obtidos durante os ensaios e testes de funcionamento da máquina de tracção e após estes, do elevador construído. Estes ensaios e testes incluem a verificação das funcionalidades do elevador (subir, descer, parar, envio, operacionalidade, segurança), assim como, o teste dos respectivos componentes que constituem o elevador, nomeadamente, o teste de aderência, testes dos anéis de controlo e a simulação de falhas e avarias.

No capítulo 5 é feita uma síntese do trabalho efectuado, dos resultados obtidos e indicações para o trabalho futuro.

Importa informar o leitor que este trabalho reveste-se de uma natureza multi-disciplinar envolvendo, nomeadamente, trabalho efectivo dentro das áreas da engenharia Mecânica, engenharia Electrotécnica e engenharia Informática. Cada uma destas áreas possui um vocabulário, relativo ao projecto e concepção de sistemas, que é muito específico. Por exemplo, a engenharia Mecânica baseia-se muitas vezes na teoria axiomática de projecto, a engenharia Electrotécnica baseia-se em modelos muito específicos de cada segmento de área (automação, micro-electrónica, etc.) e a engenharia Informática recorre a técnicas de modelação de *software* (UML, etc.). Apesar disso, tratou-se utilizar um vocabulário que seja compatível e harmonioso com as diversas áreas referidas.

2 Estado da Arte

Neste capítulo estudam-se os conceitos relevantes na área dos elevadores. Inicialmente faz-se um breve enquadramento histórico dos elevadores desde o tempo da civilização egípcia até aos complexos sistemas de elevação mais actuais. De seguida, estuda-se o conceito de elevador a sua constituição, tipos, tecnologias de controlo e respectivos componentes. Por fim, faz-se uma referência à legislação portuguesa que regula o sector dos elevadores.

Conforme referido anteriormente, importa salientar que a complexidade inerente aos sistemas de elevação e principalmente as especificações de segurança regulamentadas pela própria legislação com as possibilidades oferecidas pelo progresso da técnica, obriga a uma exposição muito abrangente dos diversos aspectos envolvidos na temática do elevador, que se manifestarão pelas dimensões do presente capítulo.

2.1 Enquadramento Histórico

Os primeiros sistemas de elevação surgiram A.C. com o intuito de tirar água de poços ou içar carga (Mitsubishi Electric, 2016c). Sabe-se que foram utilizados sistemas mecânicos de elevação na construção das antigas pirâmides no Egipto (Mitsubishi Electric, 2016c). No entanto, deve-se a Vitruvius o primeiro testemunho escrito a relatar a invenção de um dispositivo de elevação com cabo e tambor de enrolamento pelo matemático grego Arquimedes, em 236 A.C (Laura Schumm, 2014). O cabo enrolava num tambor movido por alavancas através de força humana. Sistemas mecânicos de elevação foram igualmente utilizados pelos romanos (Laura Schumm, 2014).

Em 1743 foi construído um elevador pessoal, com contrapeso, movido por força humana para o rei Luís XV no seu palácio em Versailles (Laura Schumm, 2014).

O Imperador Napoleão também mandou construir um elevador para a sua Imperatriz (Mitsubishi Electric, 2016c).

No início do século XIX os elevadores eram movidos pela máquina a vapor sendo utilizados para transporte de materiais em fábricas, minas e armazéns (Laura Schumm, 2014).

Em 1953 Elisha Graves Otis foi o primeiro a solucionar o problema de queda da cabina em caso de rotura do sistema de suspensão da mesma, inventado o primeiro sistema de pára-quedas conforme mencionado em (Mitsubishi Electric, 2016c). A sua invenção foi a precursora dos actuais pára-quedas modernos desenvolvidos e utilizados por todos os fabricantes de elevadores até aos dias de hoje. Otis demonstrou-o publicamente em 1854 no Palácio de Cristal.

Em 1867 os elevadores hidráulicos vieram substituir os movidos a vapor gradualmente (Mitsubishi Electric, 2016c). Utilizavam a pressão da água para elevar a cabina montada no extremo de um êmbolo (Comportel, 1982). Eram caracterizados por um funcionamento silencioso, seguro, paragens e

arranques suaves e precisão de paragem muito grande. Tinham um elevado custo de instalação devido à complexidade e volume do seu equipamento e um grande consumo de água. Tais factos ditaram o seu abandono no início do século XX.

Contudo, na técnica de sistemas de elevação, nada é definitivamente caduco e os elevadores hidráulicos aperfeiçoados e modernizados originaram os elevadores oleodinâmicos, também denominados de óleo-hidráulicos para transporte de carga, monta-autos e ascensores para edifícios de habitação conforme mencionado em (Comportel, 1982). Dado terem um volume de equipamento que ocupa menos espaço e com isso, custos de instalação e funcionamento menores, originaram o abandono dos elevadores hidráulicos movidos a água. Não necessitando de casa das máquinas no cimo do edifício nem de contrapeso eliminaram-se as cargas adicionais na estrutura do edifício. Os elevadores oleodinâmicos são vulgarmente designados nos dias de hoje por elevadores hidráulicos apesar de usarem óleo como fluido, que sobre pressão que faz elevar o êmbolo e por meio deste ou por intermédio de um sistema de suspensão por cabos de aço, a cabina.

Segundo (Mitsubishi Electric, 2016c; Wolfgang Christ, 2009) em 1880 a empresa alemã Siemens apresentou na exposição de Mannheim o primeiro elevador de tracção eléctrica. Era composto por um motor eléctrico de tracção que accionava um sistema de pinhão e cremalheira que fazia mover a cabina.

Em 1922, através de Westinghouse surgiu o primeiro elevador de tracção eléctrica sem caixa redutora denominado “*gearless*” instalado no Physical Education Building em Chicago (Mitsubishi Electric, 2016c). Neste tipo de elevador eléctrico, o rotor do motor eléctrico de tracção acciona directamente os cabos de suspensão por aderência.

Actualmente, os elevadores vulgarmente utilizados são de tracção eléctrica com caixa redutora, sendo os mais indicados para edifícios com um grande número de pisos de serviço. Com a evolução tecnológica actual apenas agora se começou a desenvolver, a lançar no mercado e a colocar em serviço os elevadores “*gearless*” (sem caixa redutora).

Conforme referido anteriormente na secção 1.1 devido ao preço do metro quadrado ser cada vez mais caro surgiu a necessidade de aumentar em altura os edifícios dada a impossibilidade de aumentar em área, sendo os principais desafios e tendências futuras o aumento da capacidade de carga para a mesma área e o aumento de velocidade, sem esquecer o conforto da viagem tendo em conta os efeitos do vento no edifício e a segurança dos passageiros no caso de incêndio como referido em (Mitsubishi Electric, 2016b) ou a implementação de medidas anti-sísmicas (Mitsubishi Electric, 2016a). Outro aspecto tido em consideração nos dias de hoje é o sistema de controlo de gestão tráfego que permite o aumento da disponibilidade e capacidade de movimentação por parte de um grupo de elevadores quando comparado com um grupo convencional. Em relação ao aumento de capacidade de carga para a mesma área e gestão de tráfego, é de referir que a Thyssen tem o sistema Twin que permite duas

cabinas movimentarem-se na mesma caixa uma por cima da outra independentemente do sentido de movimento de ambas (Thyssenkrupp Elevator, 2012, 2014).

É de salientar que nos dias de hoje os elevadores mais recentes utilizam um microprocessador e alguns até CAN bus, em substituição dos antigos quadros eléctricos com lógica de controlo a relés.

2.2 Definição de Elevador

Elevador é um conjunto de mecanismos interligados e articulados entre si, com a finalidade de transportar em segurança pessoas ou pessoas e carga numa trajectória vertical conforme referido em (José Sousa, 2013) ou cuja inclinação em relação à horizontal é superior a 15°, ou cujo trajecto no espaço é perfeitamente definido (Governo Português, 1998), entre níveis definidos de serviço (Governo Português, 1970). No caso do elevador se destinar ao transporte de pessoas ou de pessoas e carga e cuja cabina tem dimensões e constituição que permitem o acesso de pessoas, é denominado de ascensor (Governo Português, 1970). No caso do elevador se destinar exclusivamente ao transporte de carga e cuja cabina tem dimensões e constituição que impedem ou dificultam o acesso de pessoas é denominado de monta-cargas (Governo Português, 1970).

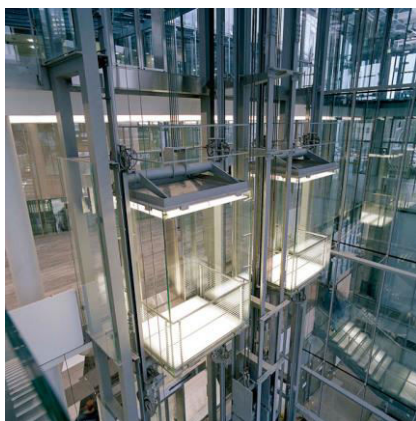


Figura 2.1 – Elevadores de transporte de pessoas (ascensores) (Von Marion Goldmann, 2011)

2.3 Tipos de Elevadores

Um elevador contemporâneo é caracterizado segundo o tipo de utilização (finalidade), tipo de edifício (elevadores em terra), tipo de modelo (elevadores em terra), tipo de grupo motor, tipo de suspensão, e quanto à existência de portas na cabina. O tipo de grupo motor é o mais importante.

Devido à experiência profissional do autor desta dissertação em ascensores, nesta dissertação dar-se-á ênfase aos ascensores de uso público segundo o qual o protótipo de monta-cargas foi projectado e construído.

De seguida, enumeram-se os vários tipos de elevadores e sistemas de elevação classificados em termos de tipo de utilização, tipo de edifício e tipo de modelo.

Tipo de utilização (finalidade):

1. Elevador de pessoas ou pessoas e carga (denominados de “ascensor”);
2. Elevador Monta-cargas;
3. Escada Mecânica;
4. Elevador tipo nora;
5. Elevador tipo alcatruz;
6. Picota;
7. Elevador de cremalheira;
8. Elevador de fuso;
9. Elevador de maquinaria teatral;
10. Monta-materiais (utilizado em obras);
11. Elevador de mina;
12. Elevador de navio;
13. Elevador utilizado em navios;
14. Monta-autos;
15. Monta-camas;
16. Elevador e guincho de torre eólica;
17. Guincho de helicóptero;
18. Elevador para elevação de aeronaves utilizado em porta-aviões;
19. Elevador de perfuração de plataformas de perfuração terrestres ou marítimas;
20. Elevadores de plataforma petrolífera do tipo Jack-up;
21. Máquinas de Armazenamento Dinâmico de Produtos (Transelevador, carrossel de armazenamento vertical e máquina de armazenamento dinâmico de produtos com mesa elevatória).

Tipo de edifício:

1. De habitação;
2. Industrial;
3. Comércio e escritórios;
4. Hospitalar.

Tipo de modelo:

1. Com casa da máquina (C.C.M.);
2. Sem casa da máquina (S.C.M.).

A casa da máquina pode situar-se em cima da caixa do elevador (Figura 2.2), em cima ao lado ou em baixo ao lado (Figura 2.3). No geral, um elevador é constituído por casa da máquina, caixa e patamares de acesso. A casa da máquina alberga o grupo motor, os quadros eléctricos, alguns dos órgãos de segurança, viga ou gancho de içar e iluminação da mesma (Figura 2.2 *b*).

A finalidade do elevador sem casa da máquina (Figura 2.4) é a redução de volume do edifício, por eliminação desta, visando uma construção mais barata e rápida. Normalmente, os elevadores sem casa da máquina são do tipo eléctrico, estando o quadro eléctrico situado num dos patamares do edifício enquanto a máquina de tracção e os órgãos de segurança do elevador estão situados na caixa. Quando existe mais do que um quadro eléctrico, o principal está situado fora da caixa e o secundário no interior desta junto à máquina de tracção (Figura 2.4 *b*).

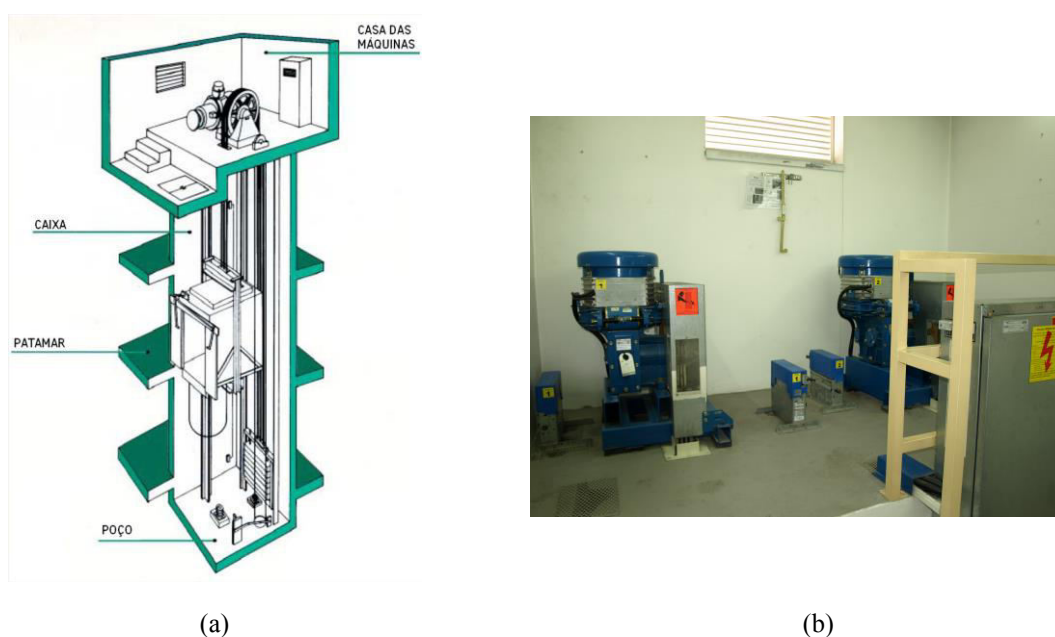


Figura 2.2 – Casa da máquina em cima: (a) Vista geral; (b) Disposição dos elementos no interior.

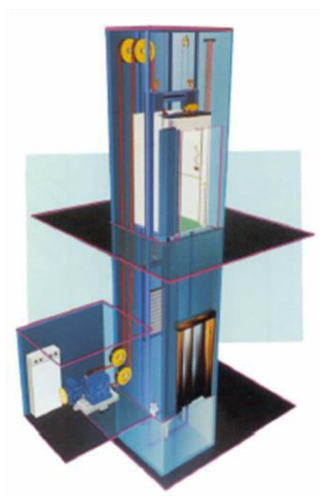
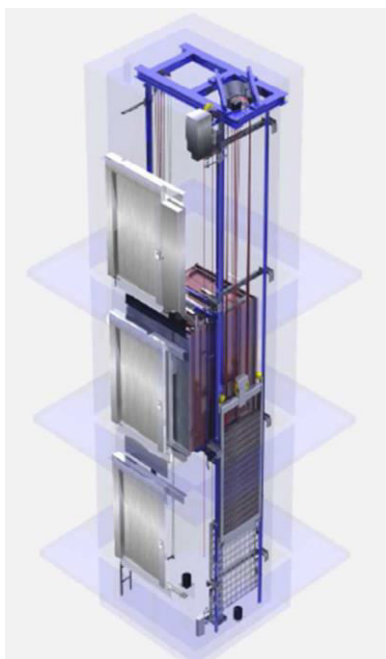


Figura 2.3 – Casa da máquina em baixo



(a)



(b)

Figura 2.4 – Sem casa da máquina: (a) Vista geral; (b) Disposição dos elementos no interior.

Tipo de suspensão:

1. Elevador de roda de aderência (ou roda de tracção);
2. Elevador de tambor de enrolamento;
3. Elevador de cadeias de suspensão;
4. Elevador de tambor com cintas de suspensão.

As características primordiais do elevador de roda de aderência (Figura 2.2; Figura 2.4; Figura 2.8) fazem-no distinguir dos demais pela sua máquina de tracção, cabina, contrapeso, cabos de suspensão (ou tracção) e velocidades nominais várias. A cabina serve para transportar pessoas ou pessoas e carga. O contrapeso serve para equilibrar a massa da cabina e de parte da sua carga nominal e possibilitar a aderência. A roda de aderência é constituída por gornes onde assentam e trabalham os cabos de suspensão da cabina e contrapeso por aderência. A capacidade de aderência (tracção) depende do ângulo de abraçamento à roda, α (Figura 2.5), do seu tipo de gorne (Figura 2.6; Figura 2.7) e da constituição material do mesmo (José Sousa, 2013).

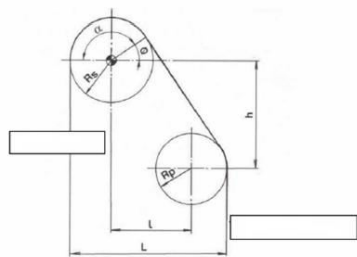


Figura 2.5 – Ângulo de abraçamento à roda, alpha

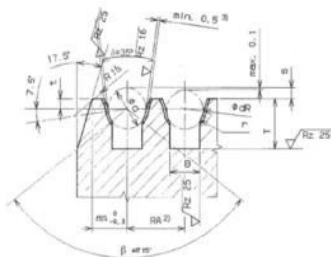


Figura 2.6 – Gorne em U subtalhado ou semi-circular

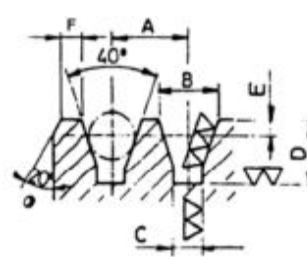
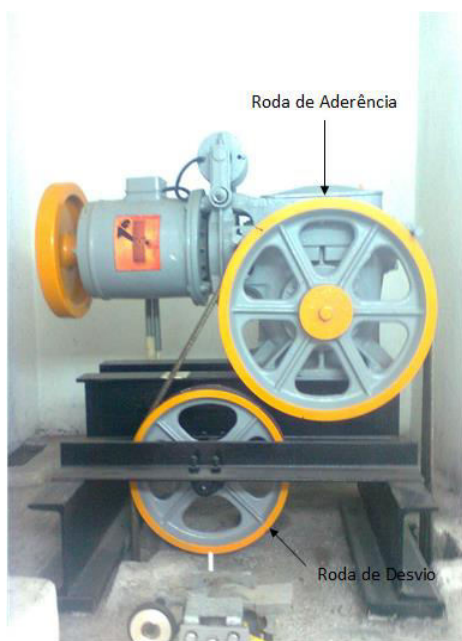


Figura 2.7 – Gorne em V

No elevador de tambor de enrolamento, o cabo de suspensão da cabina enrola nos gornes do respectivo tambor não necessitando de contrapeso (Figura 2.9).

O elevador com cintas de suspensão usa cintas com cabos de aço no seu interior, revestidos de poliuretano.

A Figura 2.8, Figura 2.9 e Figura 2.10 elucidam quanto aos diferentes tipos de suspensão.



(a)



(b)

Figura 2.8 – Elevador de roda de aderência: (a) Vista lateral; (b) Vista de topo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.9 – Elevador de tambor de enrolamento: (a); (b); (c); (d) (Cortesia Schindler Portugal).



Figura 2.10 – Elevador de tambor com cintas de suspensão



Figura 2.11 – Cinta de suspensão

Tipo de grupo motor:

1. Tracção Eléctrica (também designado de Electromecânico e abreviadamente designado de Eléctrico);
2. Óleo-hidráulico (também designado de Óleo-dinâmico e abreviadamente designado de Hidráulico).

O elevador de tracção eléctrica deve o seu nome em virtude da sua máquina de tracção, que movimenta a cabina ou a cabina e contrapeso, ser composta por um motor eléctrico de tracção (Figura 2.2 *b* e Figura 2.4 *b*), enquanto o elevador óleo-hidráulico deve o seu nome em virtude de utilizar um fluído óleo-hidráulico num cilindro para elevar a cabina não dispondo de contrapeso. Por este motivo, necessita de elevada potência eléctrica para fazer deslocar a cabina. É composto por um reservatório com fluído óleo-hidráulico no qual está colocada uma bomba que comprime o fluído para um ou mais cilindros, accionada por um motor eléctrico assíncrono trifásico ou monofásico. O motor eléctrico assíncrono trifásico está mergulhado no reservatório para o fluído arrefecê-lo quando está em funcionamento. Montado no cimo do reservatório, do lado de fora, tem um bloco de válvulas de manobra e de segurança.

Como o âmbito desta dissertação é o projecto de um sistema de automatismo de controlo de um elevador monta-cargas de tracção eléctrica, dar-se-á ênfase ao elevador de tracção eléctrica em detrimento do elevador óleo-hidráulico.

Tipo de motor de tracção eléctrica:

1. Corrente contínua;
2. Assíncrono monofásico;
3. Assíncrono trifásico;
4. Síncrono de magnetos permanentes.

Actualmente, apesar de existir, é muito raro encontrar elevadores cuja máquina de tracção é composta por um motor eléctrico de corrente contínua.

Nos elevadores de transporte de pessoas, ou pessoas e carga, ou na maioria dos monta-cargas, é comum utilizar-se o motor assíncrono trifásico. No entanto, nos dias de hoje em pequenos monta-cargas utiliza-se o motor assíncrono monofásico quando este é controlado por variador de frequência.

Tipo de máquina de tracção eléctrica:

1. Com caixa reductora (*geared*);
2. Sem caixa reductora (*gearless*).

Nos elevadores mais antigos e comuns a máquina de tracção é composta por caixa redutora, enquanto a maioria dos mais modernos e recentes a dispensam sendo do tipo sem caixa.

O grupo motor de um elevador com máquina de tracção com caixa redutora (Figura 2.8; Figura 2.12 *a* e *b*) é composto pelo conjunto motor eléctrico, travão electromecânico (freio), volante de inércia, caixa redutora (reductor), roda de aderência (ou de tracção), base de assentamento da máquina e sinoblocos. Este tipo de máquina de tracção utiliza o motor assíncrono trifásico (corrente alternada). Algumas máquinas de tracção deste tipo têm um ventilador accionado por um motor eléctrico pequeno para arrefecer o motor eléctrico de tracção, enquanto que noutras o volante de inércia da própria máquina providencia o seu arrefecimento (Figura 2.13).



(a)



(b)

Figura 2.12 – Máquina com caixa redutora: (a) Motor e sem-fim verticais; (b) Motor e sem-fim horizontais.



(a)



(b)

Figura 2.13 – Volante de inércia/ventilador: (a); (b).

O travão electromecânico (Figura 2.12; Figura 2.14) é constituído pelo conjunto do electroíman também denominado de solenóide ou bobina, seu núcleo (considerado elemento mecânico), maxilas do travão, calços, molas e polia lisa à qual agarram as duas maxilas por meio dos seus calços. Cada calço está colocado na extremidade de cada maxila e cada maxila é apertada à polia por meio de mola quando a bobina do solenoide não está energizada. Normalmente, no mínimo, cada travão é composto por duas maxilas que agarram a polia.

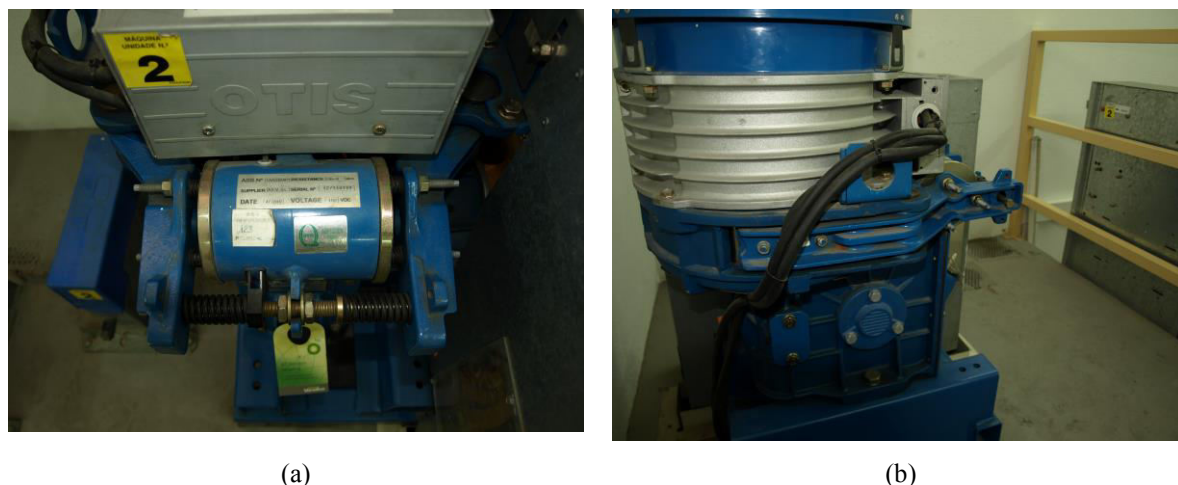


Figura 2.14 – Travão electromecânico: (a) Conjunto; (b) Maxila.

A abertura do travão, em funcionamento normal, é assegurada pela acção permanente de uma corrente eléctrica (CEN, 2000). Sendo o electroíman do travão composto por uma bobina e um núcleo, quando a bobina é energizada esta atrai o núcleo o qual por meio de um sistema mecânico articulado faz abrir as maxilas que libertam a polia ficando as molas em compressão e o motor eléctrico de tracção livre para iniciar a sua marcha.

No instante de tempo após a abertura das maxilas, o motor eléctrico de tracção é energizado e inicia o movimento de descida ou de subida da cabina. Quando é desenergizada a bobina do travão, as molas fazem as maxilas voltarem à sua posição inicial que corresponde ao apertar da polia (frenagem). No instante de tempo após a desenergização da bobina do travão e fecho das maxilas, com a consequente frenagem da polia, o motor eléctrico de tracção é desenergizado e pára o seu movimento.

Segundo as especificações de projecto de cada fabricante, a bobina do solenóide pode ser alimentada por tensão/corrente alternada ou contínua.

A caixa redutora é do tipo redutor de parafuso sem-fim/roda de coroa. A roda de aderência está acoplada ao veio da roda de coroa perpendicularmente e é accionada por esta.

Para melhor compreensão do funcionamento do conjunto da máquina de tracção com caixa redutora, os centros do volante de inércia, dos veios do motor eléctrico, da polia do travão e do parafuso sem-fim da caixa estão todos em série e no mesmo alinhamento.

A máquina de tracção sem caixa redutora, conforme ilustrado na Figura 2.4 *b* e Figura 2.15, difere da descrita anteriormente por não necessitar de caixa redutora, daí a designação de «*Gearless*». O veio do rotor do motor eléctrico está directamente acoplado à roda de aderência. O motor eléctrico é de corrente alternada, de magnetos permanentes, síncrono e trifásico.



Figura 2.15 – Máquina sem caixa redutora

A relação de suspensão, num elevador de tracção eléctrica, é a relação entre a velocidade da roda de aderência e a velocidade da cabina/contrapeso. Quanto maior for a relação, maior a velocidade linear da roda de aderência e menor a da cabina/contrapeso.

Existem dois tipos de relação de suspensão num elevador de tracção eléctrica:

1. Suspensão directa 1:1;
2. Suspensão diferencial 2:1, 3:1 e 4:1.

A suspensão directa 1:1 (Figura 2.16) significa que a velocidade linear da roda de aderência é a mesma que a velocidade linear da cabina/contrapeso.

A suspensão diferencial (Figura 2.17; Figura 2.18) significa que a velocidade linear da roda de aderência é maior que a velocidade linear da cabina/contrapeso. Por exemplo, uma relação diferencial de 2:1 significa que a roda de aderência tem o dobro da velocidade linear da cabina/contrapeso (equivale a dizer que a velocidade da cabina/contrapeso é metade da velocidade da roda de aderência).

A suspensão diferencial recorre a rodas de suspensão na cabina e contrapeso.

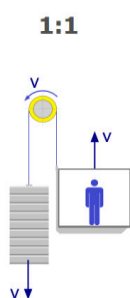


Figura 2.16 – Suspensão directa
1:1

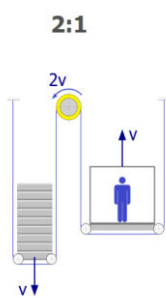


Figura 2.17 – Suspensão
diferencial 2:1

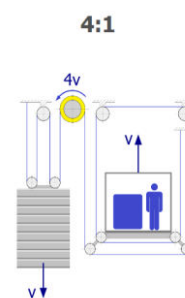


Figura 2.18 – Suspensão
diferencial 4:1

A velocidade nominal do elevador é a velocidade v em m/s da cabina para a qual o elevador foi projectado (CEN, 2000).

Em Portugal, os elevadores mais antigos têm velocidade nominal de 0,63 m/s, enquanto os mais recentes de 1,0 m/s. Os mais rápidos têm velocidade igual a 1,2 m/s e estão instalados em edifícios cujo elevador tem um curso grande, cerca de 60 m ou mais.

No caso em que o curso do elevador é muito grande, independentemente da velocidade nominal, torna-se necessário existir corrente de equilíbrio ligada nas suas extremidades à cabina e contrapeso. Serve para equilibrar a carga da cabina com a do contrapeso quando estes estão cada um nas respectivas extremidades da caixa, de modo a igualizar a tensão dos órgãos de suspensão e permitir o equilíbrio e a aderência na roda de aderência da máquina de tracção. Esta encontra-se fixada nas suas extremidades à parte inferior da arcada da cabina e do contrapeso.

A Tabela 2.1 ilustra as várias velocidades nominais para elevadores de tracção eléctrica.

Tabela 2.1 – Elevador eléctrico: Velocidades nominais.

Velocidades Nominais	
Elevadores antigos	0,63 m/s = 2,27 Km/h
Elevadores recentes	1,0 m/s = 3,6 Km/h
Edifícios de escritórios	1,6 m/s = 5,76 Km/h
Edifícios especiais	3,0 m/s = 10,8 Km/h
Alta velocidade	18,0 m/s = 64,8 Km/h

Segundo a existência de portas na cabina os elevadores classificam-se em:

1. Elevador de cabina com porta(s);
2. Elevador de cabina sem porta(s).

2.4 Anatomia do elevador eléctrico para transporte de pessoas (ascensor)

Como já referido, este tipo de elevador deve o seu nome em virtude da sua máquina de tracção ser composta por um motor eléctrico de tracção. Pretende-se o controlo de posição da cabina ao longo do seu curso e extra-curso, através do arranque, controlo de velocidade e paragem do motor eléctrico da máquina de tracção e abertura/fecho do travão electromecânico.

Sendo o elevador eléctrico de transporte de pessoas muitíssimo exigente e rigoroso em termos técnicos e de segurança, subseqüentemente, detalha-se a sua constituição, caracterização, funcionamento e tecnologias de controlo utilizadas neste tipo de elevador.

2.4.1 Constituição e caracterização do elevador eléctrico

A Figura 2.19 ilustra a constituição típica de um ascensor de tracção eléctrica. Sendo um elevador constituído por casa da máquina, caixa (da qual fazem parte o poço, zona intermédia e tecto da mesma) e patamares de acesso, de seguida, descrevem-se os componentes constituintes do elevador de tracção eléctrica. O ascensor é um sistema bastante complexo e, na sua descrição, ao longo desta secção, descrevem-se os seus constituintes e critérios de funcionamento duma forma o mais sucinta possível.

Casa da máquina (Figura 2.2 *b*): Alberga a máquina de tracção, quadro eléctrico de entrada, iluminação, iluminação de emergência, quadro eléctrico de comando (também denominado de controlo ou manobra), limitador de velocidade, sensores e transdutores referentes à segurança, e viga ou gancho de içar.

Caixa: Volume no qual se desloca a cabina, o contrapeso e a massa de equilíbrio quando existe, sendo limitado pelo fundo do poço, as paredes e o tecto da caixa (CEN, 2000). Nela situam-se as guias e respectivas fixações, cabina, contrapeso, órgãos de suspensão, massa de equilíbrio quando existe, cabo do limitador de velocidade, sensores inerentes à posição da cabina, sensores de segurança, roda tensora, amortecedores, assim como outros órgãos e elementos constituintes da instalação. Deve ser vedada e/ou inteiramente fechada em toda a sua altura por paredes, pavimento e tecto cheios, possibilitar a não propagação de incêndio, ter orifícios de ventilação, orifícios de evacuação de gases e fumos em caso de incêndio (CEN, 2000), assim como, deve permitir espaço suficiente para evitar o risco de esmagamento quando a cabina se encontra numa das suas posições extremas (Governo Português, 1998)

Máquina de tracção eléctrica: É a máquina que assegura o movimento e a paragem da cabina e contrapeso (vide secção 2.3).

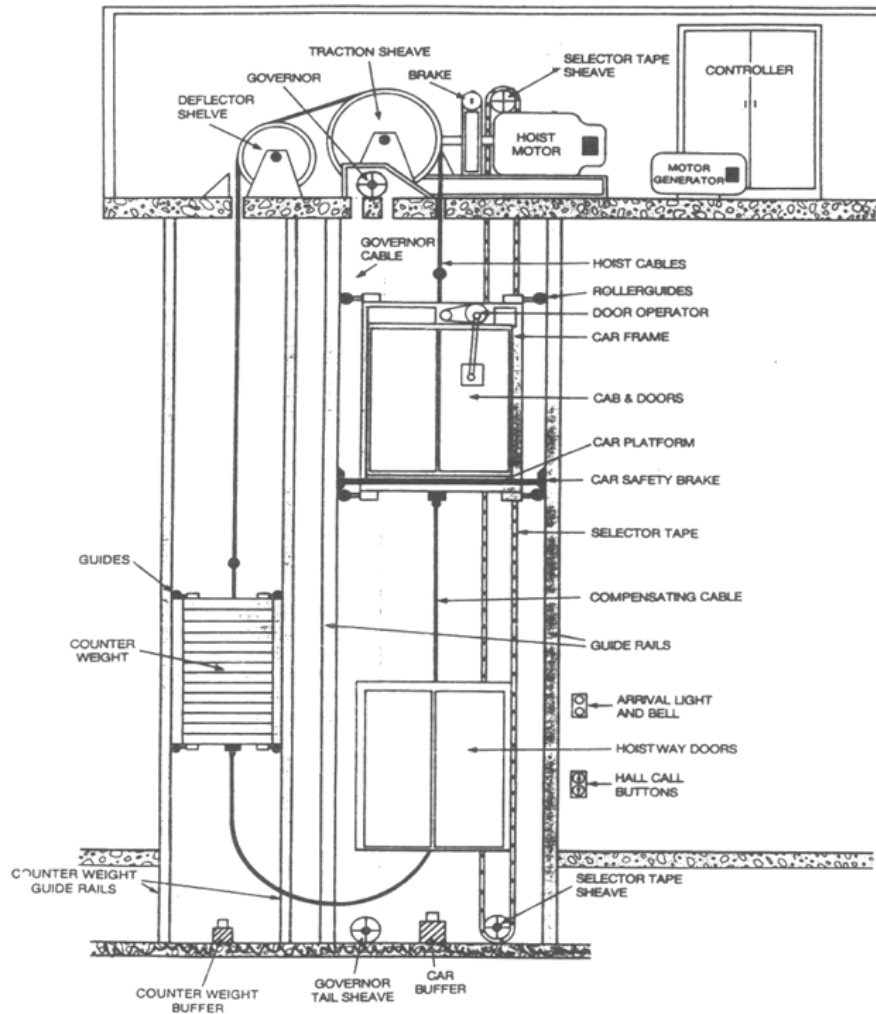


Figura 2.19 – Ascensor de tracção eléctrica (BP Elevator, 1981)

Quadro eléctrico de entrada (Figura 2.20), de protecção, constituído por:

- Disjuntor geral de toda a instalação eléctrica;
- Interruptor diferencial trifásico (protecção contra os efeitos de correntes eléctricas de fuga à terra do motor assíncrono trifásico);
- Disjuntor diferencial trifásico (protecção do motor assíncrono trifásico contra curto-circuitos);
- Interruptor diferencial monofásico de iluminação da cabina (protecção contra os efeitos de correntes eléctricas de fuga à terra do circuito de iluminação da cabina);
- Disjuntor monofásico de iluminação da cabina (protecção contra curto-circuitos do circuito de iluminação da cabina);
- Interruptor diferencial monofásico de tomada da casa da máquina;
- Disjuntor monofásico de tomada da casa da(s) máquina(s);
- Disjuntor monofásico de luz de emergência da casa da(s) máquina(s);

- Disjuntor monofásico de luz de emergência da cabina (interior).



Figura 2.20 – Quadro eléctrico de entrada



Figura 2.21 – Iluminação da casa da(s) máquina(s) e
iluminação de emergência

Iluminação da casa da(s) máquina(s) (Figura 2.21): A intensidade de iluminação deve ser no mínimo de 200 lux no pavimento.

Iluminação de emergência da casa(s) da máquina(s) (Figura 2.21): Na falha da iluminação da casa da(s) máquina(s) serve como luz de presença, sendo o seu circuito alimentado por baterias de emergência.

Quadro eléctrico de comando, também denominado de controlo ou de manobra (Figura 2.22): É onde se processa toda a informação de comando, controlo e decisão. Nele, efectua-se a gestão de toda a informação proveniente dos sensores referentes à posição da cabina (e quando necessário do contrapeso), dos sensores e transdutores referentes à segurança do elevador e dos botões de envio e de chamada. O comando de movimento da máquina de tracção, e consequentemente da cabina/contrapeso, efectua-se electricamente. Nos dias de hoje, a maioria dos elevadores tem uma placa de controlo dedicada com microprocessador e relés embutidos ou um controlador lógico programável, que faz a gestão da informação recolhida pelos sensores e transdutores, seu processamento e com base nessa gestão e processamento envia sinais de comando para os actuadores que são os contactores de sentido de movimento de subida, de descida e contactor auxiliar em série com os de sentido de movimento e relés ou contactores do electroímã do travão electromecânico (também denominado de freio). Os contactores de sentido de movimento actuam directamente no motor eléctrico de tracção e os relés ou contactores do travão actuam directamente no electroímã deste. Os três contactores têm alimentação independente das bobinas e alimentam ou cortam a alimentação de energia ao motor eléctrico de tracção em todos os pólos através dos seus contactos principais. No caso do circuito de controlo ou comando também ser composto por variador de

velocidade, a placa de controlo ou o controlador lógico programável envia sinais de comando de sentido de movimento de subida ou de descida ao variador de velocidade e este por sua vez comanda os dois contactores, em série, tanto de sentido de movimento de subida, como de sentido de movimento de descida do motor eléctrico da máquina de tracção, e relés ou contactores do electroímã do travão electromecânico.

É necessário existir uma protecção térmica do quadro eléctrico de comando contra alta temperatura e baixa temperatura da casa da(s) máquina(s) (Figura 2.23). Também é necessário existir um detector de falta de fases e inversão de fases da rede eléctrica para protecção do motor assíncrono trifásico da máquina de tracção, estando este inserido no quadro eléctrico de comando. No caso de o motor assíncrono trifásico de tracção ser comandado por variador de frequência, não é necessário o dispositivo referido anteriormente. A protecção térmica do motor de tracção pode ser efectuada por relé térmico ou termístor PTC estando este último inserido no interior do motor ou na sua caixa de ligações.

Nos elevadores mais antigos, o quadro de comando utiliza a tecnologia electromagnética de relés em vez da placa de controlo dedicada ou controlador lógico programável, dado na altura ainda não existir este tipo de tecnologias. No entanto, a alimentação do motor eléctrico da máquina de tracção é efectuada por contactores.



Figura 2.22 – Quadro de comando, controlo ou manobra



Figura 2.23 – Sensor de baixa temperatura e sensor de alta temperatura da casa da máquina

Limitador de tempo de funcionamento do motor (CEN, 2000) também conhecido por **detector de patinagem** nos elevadores de roda de aderência: É um dispositivo que provoca a paragem da máquina de tracção ao fim de um tempo pré-determinado (Governo Português, 1970) consoante o curso do

ascensor nas condições referidas em (CEN, 2000) quando a cabina / o contrapeso fica imobilizada(o) na descida por um obstáculo (CEN, 2000) provocando a patinagem da roda de aderência nos cabos de suspensão. Nos elevadores antigos que utilizam tecnologia electromagnética a relés, este dispositivo é uma placa de electrónica, enquanto que nos mais recentes que utilizam microprocessador, é efectuado em linhas de código da linguagem de programação utilizada.

Selector de pisos: Com base na informação recolhida pelos sensores de posição da cabina colocados ao longo da caixa do elevador, sabe em que piso (ou patamar) a cabina se encontra e consoante a ordem de envio ou de chamada por parte do utilizador, qual o sentido de movimento da cabina a efectuar. Faz parte do circuito de comando, sendo um órgão electromecânico nos elevadores antigos, enquanto nos recentes, é efectuado em linhas de código na respectiva linguagem de programação do microprocessador.

Cabina: Destina-se a transportar as pessoas e/ou carga. É composta pela arcada de aço na qual é montada a cabina com painéis de aço (nos ascensores antigos em madeira) ou apenas por uma cabina autoportante (sem arcada de cabina). É de salientar que também existem ascensores de cabina dupla que permitem maior capacidade de transporte de passageiros face aos de uma só cabina. Na arcada ou na cabina autoportante, tem fixas as quatro roçadeiras que fazem o seu guiamento nas respectivas guias. Para evitar a sobrecarga da cabina por passageiros, limita-se a área útil desta, havendo uma correspondência entre a carga nominal e a área útil máxima da cabina especificada na actual legislação em vigor.

No caso de uma cabina de transporte de pessoas, no seu interior, estão instalados a luz de cabina, luz de emergência, botoneira de envios para o(s) patamar(es) que se pretende, ecrã (display) de sinalização de patamares e de (excesso) carga com aviso sonoro. Os elevadores mais antigos podem não ter o ecrã anteriormente referido, mas é necessário dispositivo visual e sonoro de controlo de excesso carga.

No caso de cabina sem porta é obrigatório no seu interior o dispositivo eléctrico de paragem de emergência, também denominado de interruptor de stop e dispositivo eléctrico de alarme, também denominado de pedido de socorro. Neste tipo de cabina também é obrigatório sistema de soleira/aventail móvel e respectivo dispositivo eléctrico de paragem da máquina de tracção em caso de algum objecto ou pessoa ficar entalado/a entre a soleira e a caixa do elevador.

No caso de cabina com porta de funcionamento automático, é necessário motor de abertura/fecho de porta de cabina também denominado de operador de porta de cabina, sendo igualmente necessário, mas no seu interior, dispositivo eléctrico de controlo de fecho de porta, botão de abertura de porta, dispositivo de esforço de porta da cabina, fotocélula ou em alternativa cortina fotoeléctrica. Estes três últimos dispositivos servem para comandar a reabertura da porta no caso desta colidir com uma pessoa ou obstáculo, ou estar na iminência do o fazer, quando transponha o acesso durante o movimento de

fecho (CEN, 2000). É igualmente necessário avental de cabina, não sendo este móvel, nem necessitando de dispositivo eléctrico de paragem da máquina de tracção.

No exterior e topo da cabina, quer esta seja do tipo sem porta ou com porta, está colocada a caixa de inspecção ou revisão e o dispositivo de controlo de carga.

Dispositivo de controlo de carga vulgarmente denominado de **pesa-cargas**: Permite detectar a carga a transportar na cabina quando esta se encontra parada ao patamar. Quando é excedido o valor da carga nominal, impede a cabina de arrancar do referido patamar até este ser diminuído para o valor da carga nominal ou abaixo deste. Quando é excedido o valor, existe um indicador luminoso e sonoro que alerta o passageiro para a necessidade de diminuir a carga.

Caixa de manobra de inspecção: Serve para andar à velocidade lenta quando comparada com a velocidade nominal do elevador para permitir trabalhos de inspecção e conservação no interior da caixa. Torna inoperantes os comandos normais, não permitindo o comando receber chamadas ou envios. No entanto, todos os dispositivos de segurança permanecem activos. Encontra-se montada na cobertura (exterior) do tecto da cabina e dela fazem parte obrigatoriamente o comutador de manobra de inspecção, botão comum, botão de subida, botão de descida, paragem de emergência e tomada eléctrica. Todos os botões são de pressão contínua. As posições extremas de funcionamento normal da cabina não devem ser ultrapassadas inclusive a andar em manobra de inspecção.

Contrapeso: Destina-se a equilibrar a massa da cabina e de parte da sua carga nominal e possibilitar a aderência necessária dos cabos de suspensão na roda de aderência da máquina de tracção. É composto pela arcada metálica geralmente de aço no interior da qual encaixam os elementos metálicos ou em betão que tareiam a massa da cabina e de parte da sua carga nominal. Os elementos têm de ser mantidos e fixos no seu lugar por meio de dispositivos que impeçam que estes se soltem. O contrapeso é tareado pelo peso suspenso do lado da cabina com esta vazia no patamar inferior, mais o valor entre 40% a 50% da carga nominal da cabina, consoante o tipo de gorne da roda de aderência. É guiado por quatro roçadeiras fixas à arcada, que fazem o guiamento deste nas respectivas guias.

Orgãos de suspensão: Os cabos de suspensão suspendem a cabina e o contrapeso. Cada cabo numa das extremidades é fixado à cabina e na outra ao contrapeso por intermédio do respectivo sistema de fixação composto por tirante de auto-aperto com a respectiva cunha ou tirante de olhal com o respectivo sapatilho, cerra-cabos, anilhas de chapa, molas, porca, contraporca e troço. As molas servem como dispositivo automático de igualização da tensão nos cabos e têm de existir pelo menos numa das extremidades. Os cabos de suspensão são de aço e não se admitem emendas. O diâmetro nominal dos cabos de suspensão deve ser, no mínimo de 8 mm (CEN, 2000; Governo Português, 1970).

Quando a cabina é suspensa por dois cabos de suspensão é obrigatório a existência de um dispositivo eléctrico de segurança que provoca a paragem da máquina de tracção e consequentemente

da cabina e do contrapeso no caso de afrouxamento, alongamento anormal ou rotura do cabo de suspensão ou dos cabos de suspensão.

Carga nominal: Carga para a qual o elevador foi fabricado (CEN, 2000), indicada na cabina e que corresponde ao valor máximo da carga para a qual é exigido o funcionamento em segurança do elevador (Governo Português, 1970).

Constituição de um cabo: Os cabos de suspensão e do limitador de velocidade, componente de segurança que faz parte do sistema de actuação do pára-quedas, são ambos de aço. São compostos por arames agrupados de forma a formar uma madre, que se enrolam formando o cabo e sendo capaz de resistir a esforços de tracção (alongamento), torção, flexão e ovalização (José Sousa, 2013).

A alma madre (suporte interior) de um cabo pode ser constituída por fibra artificial ou por um cabo de aço tornando o cabo no seu cômputo, mais flexível e com isso mais resistente à flexão e torção e com uma carga de rotura superior. A alma também tem lubrificante que ajuda a proteger o cabo contra a corrosão.

A forma geral de constituição de um cabo é a seguinte:

(número de madres) x (número de arames da madre) + (número de almas do cabo)

A madre também é designada de perna.

Existem três tipos de cabos de suspensão comumente utilizados em elevadores:

- Seale 8x19+1;
- IWRC 9x15+1;
- IWRC 8x19+1.

Estes três tipos de cabos são utilizados para suspensão pelas suas características acima referidas e requeridas para elevadores. É de notar que os cabos de suspensão quando da montagem ou substituição têm de ser todos do mesmo tipo.

Convém referir que a empresa Kone criou um novo tipo de cabo de suspensão, apelidado de «UltraRope», sendo este composto por cabos com núcleo em fibra de carbono e revestimento especial resistente a grande fricção. Segundo o fabricante tem como vantagens ser extremamente leve, originando a diminuição das massas móveis do elevador, por exemplo, do contrapeso e da corrente de equilíbrio, conseqüente diminuição do volume da caixa do elevador, e um consumo de energia menor (Kone, 2013). Este tipo de cabo também é menos sensível às oscilações (laterais) do edifício quando de ventos fortes (Kone, 2013).

Carga de rotura mínima de um cabo ou força de rotura mínima de um cabo: A carga de rotura mínima ou força de rotura mínima de um cabo, F , (em N) representada na equação (2.1), é o produto do quadrado do diâmetro nominal do cabo, $d_{nominal}$, (em mm²) pela resistência nominal de tracção dos fios, $\sigma_{axial\ nominal}$, (em N/mm²) e por um coeficiente de segurança próprio do tipo de construção do cabo, S_f , conforme definido em (CEN, 2000).

$$F = d_{nominal}^2 \cdot \sigma_{axial nominal} \cdot S_f \quad (2.1)$$

O coeficiente de segurança dos cabos de suspensão não pode ser inferior a (CEN, 2000; Governo Português, 1970):

- a) 12 no caso de máquinas de roda de aderência com número de cabos de suspensão ≥ 3 ;
- b) 16 no caso de máquinas de roda de aderência com 2 cabos.

A Figura 2.24 ilustra um exemplo de aplicação prática do coeficiente de segurança relativamente aos cabos de suspensão de uma cabina (José Sousa, 2013).

Deste modo, para uma cabina com carga nominal completa cuja massa no seu total é de 1000 Kg e com 4 cabos a suspendê-la, cada cabo suporta $1000/4 = 250$ Kg, ou seja, 250 Kg.

Como temos 4 cabos de suspensão, segundo a actual legislação (CEN, 2000; Governo Português, 1970) tem de se aplicar o coeficiente de segurança 12. Então, cada cabo terá que suportar 12×250 (Kg) = 3000 Kg.

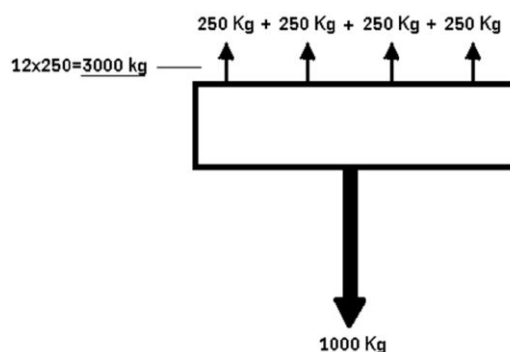


Figura 2.24 – Cabos de suspensão e coeficiente de segurança

Relação entre o diâmetro da roda de aderência, rodas de desvio, de suspensão ou tambor e o diâmetro dos cabos de suspensão²: Para minorar e evitar a fadiga à flexão provocada pelo encurvamento dos cabos nos gornes da respectiva roda há que ter em conta que a relação entre o diâmetro primitivo da roda de aderência, das rodas de desvio ou de suspensão e o diâmetro nominal dos cabos de suspensão deve ser igual ou superior a 40 segundo o estipulado em (Governo Português, 1970).

Guias: Órgãos rígidos que asseguram o guiamento da cabina e do contrapeso (CEN, 2000). São de aço estirado e devem proteger-se contra a corrosão. Estão inseridas no interior da caixa e são fixas as paredes desta através das respectivas fixações ou a uma estrutura em aço autoportante.

² Isto não é um elemento de um elevador, mas um critério.

Roçadeiras: Órgãos montados na arcada da cabina e do contrapeso que correm ao longo das respectivas guias e mantêm a cabina e o contrapeso nas posições devidas (Governo Português, 1970).

Limitador de velocidade (Figura 2.25 e Figura 2.26): É um dispositivo automático que, acima duma velocidade com regulação pré-determinada, comanda a paragem da máquina de tracção e, se necessário provoca a actuação do pára-quedas (sentido de movimento de descida) conforme mencionado em (CEN, 2000) ou do pára-subidas (sentido de movimento de subida), caso exista. Também existe limitador de velocidade para o contrapeso caso necessário.



(a)



(b)

Figura 2.25– Limitador de velocidade com uma massa centrífuga



(a)



(b)

Figura 2.26 – Limitador de velocidade com duas massas centrífugas

Cabo de segurança ou do limitador: Acciona a alavanca de accionamento do pára-quedas (Figura 2.25; Figura 2.26; Figura 2.30) e/ou do pára-subidas caso exista. É um cabo de aço e deve ter diâmetro nominal mínimo de 6 mm devendo estar protegido contra a oxidação. Quanto à sua constituição é do tipo Normal 6x19+1 com alma madre em fibra artificial para ser flexível.

O cabo tem de ter um coeficiente de segurança com o mínimo de 8 para aguentar os esforços de tracção a que está sujeito no momento de actuação do pára-quedas (CEN, 2000).

Pára-quedas: É um órgão mecânico destinado a fazer parar e manter parada a cabina ou o contrapeso ou a massa de equilíbrio (CEN, 2000) às respectivas guias no caso de excesso de velocidade no sentido de descida, ou de ruptura dos órgãos de suspensão (Governo Português, 1970). O pára-quedas em si é composto por um sistema de cunha (Figura 2.27) ou cunha/rolete com grifos (Figura 2.28). Está fixo à arcada da cabina e no caso do contrapeso à arcada deste.

Pára-subidas: É o órgão mecânico destinado a abrandar ou a fazer parar e manter parada a cabina ou o contrapeso às respectivas guias em caso de excesso de velocidade na subida (Figura 2.28). Alguns pára-quedas também podem fazer de pára-subidas funcionando tanto no sentido de descida como no sentido de subida da cabina (Figura 2.28).

Roda tensora: Roda com um gorne, interligada a um sistema com um peso na sua extremidade que tensiona o cabo do limitador (Figura 2.31) sendo guiada por este. Caso o cabo estique demasiado, fique frouxo ou rebente, é actuado o dispositivo eléctrico de segurança da mesma que faz parar a máquina de tracção.

Sistema de limitador de velocidade/cabo do limitador/roda tensora/pára-quedas: O sistema de pára-quedas é composto pelo conjunto limitador de velocidade, cabo do limitador ou de segurança, sistema de amarração do cabo à alavanca ou barra de accionamento do pára-quedas, sistema de fixação do pára-quedas à arcada da cabina e roda tensora. No caso do contrapeso ter pára-quedas, o sistema é o mesmo, mas o pára-quedas encontra-se fixo à arcada do contrapeso.

Relação entre o diâmetro primitivo da roda do limitador de velocidade, roda tensora e o cabo do limitador ou de segurança³: A relação entre o diâmetro primitivo da roda do limitador de velocidade, da roda tensora do cabo do limitador de velocidade e o diâmetro nominal do cabo deve ser, no mínimo de 30 (CEN, 2000).

Funcionamento do sistema de limitador de velocidade/cabo do limitador/roda tensora/pára-quedas: O limitador de velocidade (Figura 2.25; Figura 2.26) é composto por uma roda com uma ou mais massas centrífugas, trinco das mesmas, um gorne no qual trabalha o cabo do limitador por aderência, mola de regulação da velocidade de actuação do limitador e dispositivo eléctrico de segurança de paragem da máquina de tracção.

Como o cabo de aço do limitador está fixo à alavanca de accionamento do pára-quedas pelas suas extremidades, este acompanha o movimento da cabina. Ao acompanhar o movimento da cabina, faz mover a roda do limitador de velocidade por aderência no seu gorne. Quando a velocidade nominal da cabina é excedida em determinada percentagem a qual está pré-determinada pela tensão da mola do limitador, as massas centrífugas abrem pelo efeito da força centrífuga e encravam por meio de trinco a roda do limitador fazendo-a parar. Ao parar, o cabo de segurança também pára, mas não instantaneamente, e como está tensionado pelo peso da roda tensora e preso em ambas as extremidades à alavanca do pára-quedas, faz accionar o mesmo e parar a cabina no seu movimento de descida ou travar/parar no seu movimento de subida. Quando o limitador de velocidade é accionado no movimento de subida da cabina, o dispositivo eléctrico do limitador (Figura 2.25; Figura 2.26) é actuado e provoca a paragem da máquina de tracção. Convém salientar que a velocidade linear da

³ Isto não é um elemento de um elevador, mas um critério.

cabina é transformada em velocidade angular no limitador pelo cabo de segurança e a roda do limitador. É importante referir que no movimento de descida da cabina, antes ou no momento de actuação do pára-quebras, o dispositivo eléctrico do pára-quebras (Figura 2.29) provoca a paragem da máquina de tracção. De igual modo, mas no sentido de subida, no caso do elevador ter pára-subidas (ou o pára-quebras também fazer de pára-subidas), antes ou no momento de actuação do pára-subidas, o dispositivo eléctrico do pára-subidas provoca a paragem da máquina de tracção.

Curso: Espaço percorrido pela cabina entre os patamares ou níveis extremos (Governo Português, 1970).

Dispositivos de indicação de posição da cabina ao patamar: São sensores que servem para indicar a posição da cabina quando esta se encontra ao patamar ou a passar por este. Estão dispostos ao longo da caixa do elevador no seu interior.



Figura 2.27 – Pára-quebras com sistema de cunha



Figura 2.28 – Pára-quebras com sistema de rolete



Figura 2.29 – Dispositivo eléctrico do pára-quebras



Figura 2.30 – Interior da caixa: cabo limitador do contrapeso; cabos de suspensão; cabo limitador da cabina.



Figura 2.31 – Roda tensora



Figura 2.32 – Cabo limitador contrapeso: sistema de amarração ao pára-quebras

Dispositivos de paragem nos patamares extremos: Destinam-se a fazer parar a máquina de tracção e consequentemente a cabina nos patamares extremos, por abertura de contactos comandados mecanicamente pela cabina, directa ou indirectamente (Governo Português, 1970). Estes dispositivos (sensores) são denominados de extremo superior e de extremo inferior. O primeiro está colocado na zona do último patamar e o segundo na zona do rés-do-chão. No decurso do movimento de subida, quando falha a leitura de um dos sensores de patamar ao longo da caixa, independentemente do patamar de paragem pretendido, a cabina pára automaticamente no último patamar quando da actuação do sensor de extremo superior. Do mesmo modo, no decurso do movimento de descida, quando falha a leitura de um dos sensores de patamar ao longo da caixa, independentemente do patamar de paragem pretendido, a cabina pára automaticamente no rés-do-chão quando da actuação do sensor de extremo inferior.

Dispositivos de fim de curso de segurança: Destinam-se a fazer parar a máquina de tracção quando a cabina excede o seu curso de funcionamento na subida ou na descida e consequentemente a cabina. Estão regulados para actuar depois dos dispositivos de paragem nos patamares extremos e antes de a cabina atingir os respectivos amortecedores, sendo comandados mecanicamente por esta. São denominados de fim de curso superior e fim de curso inferior. O primeiro está colocado acima do extremo superior e o segundo abaixo do extremo inferior. No decurso do movimento de subida, quando falha a actuação do dispositivo de extremo superior, a cabina actua o fim de curso superior e pára a máquina de tracção. Do mesmo modo, no decurso do movimento de descida, quando falha a actuação do dispositivo de extremo inferior, a cabina actua o fim de curso inferior e pára a máquina de tracção. Com os dispositivos de fim de curso actuados, deve-se manter a acção dos mesmos independentemente dos amortecedores da cabina ou do contrapeso comprimidos não podendo provocar cortes intempestivos. Após a actuação de um dispositivo de fim de curso de segurança, a

reposição em serviço do elevador não pode efectuar-se automaticamente, estando subordinada a uma intervenção humana na própria máquina de tracção e/ou quadro eléctrico de comando.

Amortecedores: Estão montados na base do poço e servem para absorver ou dissipar a energia de impacto caso a cabina ou o contrapeso ultrapassem o seu curso de funcionamento.

Os amortecedores de acumulação de energia são do tipo mola mecânica e armazenam a energia absorvida do impacto sob a forma de energia de tensão mecânica. Podem ser de características lineares e não lineares, sendo empregues em elevadores cuja velocidade nominal não excede 1 m/s, ou podem ser com amortecimento do movimento de retorno sendo utilizados caso o elevador não exceda 1,6 m/s.

Os amortecedores de dissipação de energia são do tipo óleo-hidráulico, também designados de hidráulico e dissipam a energia do impacto sob a forma de calor durante o percurso do amortecedor. Este tipo de amortecedor pode ser utilizado para qualquer velocidade nominal do elevador, sendo obrigatório a sua utilização para velocidade superior a 1,6 m/s. Possui um dispositivo eléctrico de segurança que provoca a paragem da máquina de tracção quando a cabina ou o contrapeso embate no amortecedor. Só é reposto o funcionamento da máquina de tracção quando o amortecedor está na sua posição de extensão normal.

Poço: É o espaço que delimita o fundo da caixa. Nele estão instalados o dispositivo de paragem da máquina de tracção, os amortecedores da cabina e do contrapeso, roda(s) tensora(s), e escada de acesso caso se justifique. O dispositivo de paragem da máquina de tracção é obrigatório e serve para se aceder ao poço em segurança e realizar trabalhos de inspecção e manutenção.

Patamar: Pavimento ou plataforma onde a cabina estaciona para entrada ou saída de pessoas e/ou carga (Governo Português, 1970). Nele se situam as portas de patamar. Em cada patamar, próximo da respectiva porta, situa-se a botoneira com o respectivo botão de chamada da cabina e sinal luminoso de indicação de presença da mesma. Em cada patamar é obrigatório existir iluminação artificial de acesso à cabina.

Porta de patamar: Servem de acesso ao interior da cabina, assim como à cobertura da mesma e ao interior da caixa. Devem ser cheias, ter resistência mecânica suficiente para resistir a deformações elásticas e passar o teste de resistência ao fogo segundo os requisitos consagrados na actual legislação em vigor. Não podem abrir para o interior da caixa e quando existem, os seus visores possuem apenas dimensões que servem para ver se a cabina se encontra no patamar onde o utente a aguarda ou se acabou de chegar a este.

Quanto ao tipo de funcionamento, as portas de patamar podem ser de batente ou de movimento automático. No primeiro caso, são abertas manualmente e voltam à posição de fechadas por acção de mola(s). No segundo caso, são accionadas mecanicamente pelo sistema de abertura/fecho da porta de cabina quando esta se encontra estacionada ao patamar e é dada ordem de abertura ou quando chega à zona de desencravamento do patamar de destino. Contudo, existem elevadores com porta de cabina e porta de patamar de batente.

Na situação excepcional de se abrir a porta de patamar de movimento automático com a cabina fora da zona de desencravamento, a porta de patamar tem de fechar por intermédio de um dispositivo que pode ser uma mola ou um peso.

Cada porta de patamar, independentemente do tipo de funcionamento acima descrito, tem de possuir um dispositivo mecânico de encravamento da mesma quando esta se encontra fechada. Na porta de batente, este dispositivo mecânico é o ferrolho da fechadura em forma de «canhão» e na porta de movimento automático é uma peça metálica em forma de «garra».

É obrigatório cada porta de patamar ter um dispositivo eléctrico de segurança de controlo de fecho de porta que indica que a mesma se encontra fechada, e um dispositivo eléctrico de segurança de controlo de encravamento de porta que indica que a porta se encontra encravada sendo impossível abri-la. No caso de a porta ser aberta ou ser desencravada, os respectivos dispositivos provocam a paragem da máquina de tracção e consequentemente da cabina.

Na porta de patamar de batente o dispositivo eléctrico de segurança de controlo do fecho da porta e o dispositivo eléctrico de segurança de controlo do encravamento da porta são ambos independentes um do outro. Nas portas de patamar de funcionamento automático o dispositivo de controlo de fecho de porta pode ser comum com o de controlo de encravamento, ou seja, um único, na condição da sua acção ser subordinada ao fecho efectivo da porta de patamar (CEN, 2000).

Por motivo de segurança, com excepção da porta, ou portas, do patamar onde a cabina está estacionada, todas as outras portas de patamar devem encontrar-se permanentemente encravadas (Governo Português, 1970). A cabina só pode iniciar o seu movimento quando todas as portas de patamar se encontram encravadas.

Não é possível desencravar (e abrir) as portas de patamar do exterior, a não ser por meio de chave de tipo especial para o efeito. Esta chave é vulgarmente chamada de abertura das portas de patamar ou de emergência.

Zona de desencravamento: Zona acima e abaixo do nível do patamar de paragem, na qual se deve encontrar o pavimento da cabina para que a porta desse patamar possa ser desencravada (CEN, 2000).

A extensão da zona de desencravamento é obrigatória para qualquer porta de patamar, depende do seu tipo de funcionamento (de batente ou de movimento automático) e está definida na legislação portuguesa em vigor.

No caso da porta de patamar ser de batente, a zona de desencravamento é dada pelo comprimento da rampa móvel (ou calço móvel) montada na cabina. Esta é accionada por uma bobina e respectivo sistema articulado. Com a porta de patamar fechada, quando é dada a ordem de movimento à máquina de tracção para conseqüente movimento da cabina, a bobina é energizada e recolhe a rampa móvel, encravando a porta por meio do ferrolho da sua fechadura, iniciando a cabina o seu movimento. Quando a cabina chega ao nível de patamar de destino, é interrompida a alimentação da bobina e por

meio de molas a rampa volta à sua posição de descanso e actua o rolete do manípulo da fechadura desencravando a porta.

Para a porta de patamar de funcionamento automático a zona de desencravamento é dada pelo comprimento de cada lâmina (ou «faca») do conjunto do sistema de lâminas montadas na porta de cabina, sendo accionadas pelo motor eléctrico de abertura/fecho de porta da mesma.

Em funcionamento normal do elevador, não deve ser possível abrir uma porta de patamar a não ser que a cabina esteja parada ou a parar dentro da zona de desencravamento dessa porta (CEN, 2000).

Considerações relacionadas com distâncias de segurança⁴: Por questões de segurança as distâncias ou folgas entre cabina e contrapeso, cabina, contrapeso e as paredes da caixa, entre acesso de cabina e acesso das portas de patamar com ou sem porta de cabina, obedecem às regulamentadas na legislação portuguesa em vigor (CEN, 2000; Governo Português, 1970).

Sistema de comunicação bidireccional: É o dispositivo de pedido de socorro instalado no interior da cabina que permite a comunicação vocal nos dois sentidos possibilitando um contacto permanente por parte do passageiro com um serviço de socorro de ajuda exterior (CEN, 2000). Num elevador de cabina sem porta, o dispositivo de alarme de pedido de socorro é comum ao sistema de comunicação bidireccional.

No caso de falta de energia eléctrica da rede, o referido sistema tem de ser alimentado por uma fonte de socorro, a baterias, com recarregamento automático, que pode ser o mesmo que alimenta a iluminação de emergência da cabina.

Quando o curso do elevador é superior a 30 m, é necessário existir entre a cabina e a casa da(s) máquina(s), um intercomunicador ou um dispositivo análogo, que permita a comunicação entre ambas, alimentado pela fonte de socorro anteriormente referida (CEN, 2000).

Cabo flexível ou de manobra: É o cabo entre a cabina e um ponto fixo no quadro eléctrico para a ligação da instalação eléctrica à cabina e tudo de inerente a esta. É um cabo plano, para evitar torcer quando em movimento.

Sistema de resgate: É composto por um sistema de baterias eléctricas de emergência que, no caso de falha ou falta de energia eléctrica da rede de alimentação, permite a paragem da cabina no nível de patamar mais próximo no decurso do seu sentido de movimento, para a saída do(s) passageiro(s). Apenas alguns elevadores estão providos deste sistema a pedido do proprietário.

Dispositivo de comando em caso de incêndio ou emergência: É um dispositivo eléctrico que impede o acesso a determinados níveis de patamar e permite o controlo prioritário do elevador pela(s) equipa(s) de socorro (Governo Português, 1998).

⁴ Isto é um critério.

Alguns elevadores, no caso de incêndio, estão providos de sistemas que permitem a detecção de fumos e ou gases nocivos para os passageiros ou equipas de socorro e a paragem da cabina no nível de patamar mais próximo no decurso do seu sentido de movimento, para a saída do(s) passageiro(s) ou equipas de socorro.

Sistema de monitorização remota: Sistema utilizado em elevadores recentes que permite a monitorização remota e permanente, em tempo real, 24 horas sobre 24 horas, das principais variáveis do sistema de elevação por parte do fabricante do elevador, registando qualquer desvio fora do seu funcionamento normal. Tem como finalidade permitir uma detecção rápida de possíveis futuras avarias e/ou de avarias, assim como, o ajuste de parâmetros em tempo real e uma intervenção rápida por parte dos meios técnicos de manutenção e/ou de socorro.

Consideração sobre os dispositivos eléctricos de segurança de um elevador⁵: Cada dispositivo eléctrico de segurança de um elevador é constituído por um contacto (de segurança) do tipo normalmente fechado, NF, que corta a alimentação ao respectivo circuito de comando do motor eléctrico de tracção e da bobina do travão electromecânico, impedindo o arranque da máquina de tracção, comandando imediatamente a sua paragem.

O funcionamento de um contacto de segurança deve efectuar-se por separação positiva dos seus órgãos de corte (CEN, 2000), mesmo que acidentalmente se tenham colado ou soldado (Governo Português, 1970).

Manobra de acerto a um dos níveis de patamar extremos: Destina-se a levar a cabina ao extremo inferior ou ao extremo superior de patamar quando o circuito principal de controlo e comando não sabe em que posição ao longo do curso da caixa a cabina se encontra, ficando a saber que está no patamar extremo por intermédio da informação proveniente do respectivo dispositivo (sensor) de extremo inferior ou extremo superior. A partir daí, através da contagem dos «impulsos» provenientes dos sensores ao longo da caixa, sabe em que patamar (piso) a cabina se encontra. Esta situação, ocorre nas situações de reposição da energia eléctrica da rede de alimentação após falta ou falha desta, quando da abertura de uma porta de patamar ou de cabina sem ser pelos meios convencionais de chamada de patamar ou envio no seu interior, quando da reposição (rearme) de um dispositivo eléctrico de segurança após actuação deste.

Os elevadores cujo curso é muito elevado, por exemplo, superior a 60 m, dispensam a manobra de acerto a um dos níveis de patamar extremos, dado que o circuito principal de controlo e comando sabe em que posição exacta a cabina se encontra na caixa por intermédio dos sensores de posição colocados ao longo desta, os quais diferem dos de manobra de acerto, independentemente da falha e reposição de energia eléctrica da rede de alimentação e das restantes situações anteriormente citadas.

⁵ Isto é um critério.

Manobra dupla: Utiliza-se para permitir um comando único de chamada, em cada patamar, a dois elevadores cujas cabinas circulam contíguas na mesma caixa ou em caixas contíguas (Comportel, 1983).

Tem como finalidade impedir que a um mesmo patamar cheguem as duas cabinas para atender à chamada dum mesmo utente.

Funcionamento da manobra dupla: Em cada patamar existe uma botoneira da qual fazem parte um botão de chamada e duas luzes de sinalização, uma para cada elevador. Assim, que é premido o botão de chamada, por intermédio da sinalização, o utente sabe que cabina respondeu à chamada.

Encontrando-se uma cabina ocupada e a outra livre, quando o utilizador faz uma chamada no patamar, ocorre a este a cabina livre excepto se a cabina ocupada se dirige ao patamar de chamada.

Quando as duas cabinas se encontram livres atenderá à chamada a cabina que estiver mais próxima do patamar de chamada.

No caso das duas cabinas estarem livres e a igual distância da chamada atenderá a cabina do elevador que estiver livre há mais tempo.

Manobra de socorro manual: Destina-se a levar a cabina carregada com a carga nominal de uma posição, qualquer do curso a um dos patamares mais próximos, para resgate de passageiros retidos no seu interior, através de um dispositivo de manobra de socorro manual, provido de um volante liso sem raios, que normalmente é o volante de inércia da máquina de tracção, quando o esforço manual necessário não ultrapassar uma força de 400 N (CEN, 2000). Para se efectuar esta manobra de resgate, por questão de segurança do operador, é necessário desligar todos os circuitos eléctricos inerentes à alimentação de força motriz do motor eléctrico de tracção e da bobina do travão electromecânico da máquina de tracção. Para rodar o volante de inércia, será necessário destravar a polia lisa (ou tambor) da máquina de tracção, por meio de um manípulo ou de chave especial para o efeito, denominada de chave do travão, após o corte da alimentação eléctrica acima referido. No caso dos elevadores sem casa da máquina, a manobra de socorro manual, é efectuada por intermédio dos dispositivos para o efeito que se encontram instalados no painel do quadro eléctrico situado no patamar.

Manobra eléctrica de socorro: Quando o esforço manual supracitado é superior a 400 N, é utilizado um dispositivo de manobra eléctrica de socorro situado na casa da(s) máquina(s), o qual comanda o movimento da máquina de tracção, sendo esta alimentada por intermédio da rede de alimentação normal de força motriz (CEN, 2000).

Após a ligação do dispositivo comutador de manobra eléctrica de socorro, apenas são permitidos movimentos da cabina comandados por intermédio deste, não sendo aceites chamadas nem envios. O funcionamento deste tipo de manobra eléctrica de socorro só é neutralizada pela ligação da manobra de inspecção (CEN, 2000).

Nos elevadores provindos deste sistema, poderá ser utilizado este tipo de manobra, não só para resgatar passageiros retidos no interior da cabina, mas também para efectuar alguns testes durante a inspecção técnica ao elevador.

É na caixa de manobra eléctrica de socorro que estão inseridos o comutador de manobra eléctrica de socorro, botão de descida e botão de subida, sendo estes últimos de pressão contínua e protegidos contra acção involuntária.

Controlo de selecção de destino: O sistema DSC – Destination Selection Control (Controlo de Selecção de Destino) foi desenvolvido pela ThyssenKrupp e tem como objectivo primordial o aumento até 30% da disponibilidade e capacidade de movimentação por parte de um grupo de elevadores quando comparado com um grupo convencional (Thyssen Aufzüge, 2010).

Permite o utilizador do elevador seleccionar o patamar (ou piso) de destino que pretende, antes de entrar na cabina, através de um ecrã táctil montado no patamar, permitindo à unidade de controlo seleccionar o elevador do grupo que melhor se coaduna a servir essa chamada evitando maior tempo de espera e reduzindo o tempo de viagem.

Como nos dias de hoje, o preço do metro quadrado nos edifícios recentes é bastante elevado não sendo possível um aumento da capacidade de carga nominal de um elevador que originaria um aumento da área e volume da cabina e consequentemente da caixa dos elevadores, problema que também afecta os edifícios já existentes, assim como, o aumento da velocidade nominal, por si só, não resolve o escoamento de tráfego humano, disponibilidade e capacidade de movimentação por parte do grupo de elevadores, este sistema DSC visa a resolução destes problemas e a sua optimização.

O sistema DSC é baseado em tecnologia de controlo com microprocessador e pré-processamento de dados descentralizado, fazendo uso da tecnologia CAN bus, assegurando uma conexão fiável de todos os seus componentes. Este sistema também possui sistema de diagnóstico remoto integrado que foi concebido tanto para elevadores de roda de aderência sem ou com casa da máquina, inclusive elevadores de grande velocidade com máquina de tracção provida de caixa redutora.

Sistema Twin: É um sistema concretizado pela ThyssenKrupp, com dois elevadores independentes, instalados na mesma caixa, em que uma das cabinas movimenta-se por cima da outra, independentemente do sentido de movimento de ambas (Thyssenkrupp Elevator, 2012, 2014). Cada elevador tem a sua máquina de tracção, quadro eléctrico de controlo (ou comando), cabina, contrapeso, órgãos de suspensão e limitador de velocidade. Ambos os elevadores partilham a mesma caixa, com ambas as cabinas a partilhar as mesmas guias e portas de patamar. No entanto, cada contrapeso tem as suas próprias guias. Como medida de segurança é tido sempre em consideração uma distância mínima e espaço mínimo de separação entre as duas cabinas qualquer que seja a condição de funcionamento.

O sistema utiliza-se em edifícios entre os 50 e 200 metros de altura e para modernização de sistemas de elevação existentes, tendo em conta que oferece muito maior capacidade de transporte que elevadores de cabina dupla.

Os elevadores Twin representados na Figura 2.33 para além de serem mais eficientes na utilização de espaço disponível do edifício, utilizam o sistema de controlo DSC anteriormente descrito, permitindo lidar com mais tráfego, poupar dinheiro e redução do consumo de energia.



Figura 2.33 – Thyssen Twin

2.4.2 Funcionamento do Elevador de Tracção Eléctrica (ascensor)

Como referido anteriormente, o elevador de tracção eléctrica de transporte de pessoas (ascensor), mais comum, é constituído por máquina de tracção eléctrica da qual fazem parte motor eléctrico de tracção, normalmente assíncrono trifásico, travão electromecânico, podendo ter caixa redutora ou prescindir desta no caso do motor eléctrico ser síncrono trifásico, e roda de aderência.

O utilizador através do botão de chamada, chama a cabina ao patamar (ou piso) em que se encontra. Após esta ordem inicia-se a manobra de controlo originando o movimento da cabina até ao patamar de chamada, salvo se esta já se encontra neste. Após a chegada da cabina ao patamar de chamada e entrada do utilizador na cabina, este envia a cabina para o piso de destino por meio do respectivo botão de envio.

2.5 Tecnologias de Controlo em Elevadores

Em Portugal, existe uma grande diversidade de tecnologia electromecânica em relação a elevadores. A nível eléctrico abrange desde a tecnologia electromagnética com relés e contactores desde o princípio do século 20 até às placas de controlo electrónicas com microprocessador, controladores lógicos programáveis, também designados de autómatos programáveis e variadores de frequência, dos dias de hoje.

2.5.1 Considerações sobre o circuito de potência do motor eléctrico de tracção

Electricamente, independentemente do tipo de tecnologia de controlo do elevador em causa, todos os elevadores são obrigados a ter dois contactores independentes no circuito de potência de alimentação

do motor de corrente alternada ou contínua para cortarem a alimentação de energia ao motor (CEN, 2000). Deste modo, para contactores com contactos metálicos, no caso do elevador ser de uma velocidade (desde o arranque, percurso e até à paragem da cabina), o circuito de potência de alimentação do motor eléctrico de tracção é constituído por contactor de subida, contactor de descida e contactor auxiliar, em série com um dos anteriores. No caso de o elevador ser de duas velocidades, ou seja, a cabina arranca em grande velocidade, faz o seu percurso e quando está a chegar ao patamar de destino muda para pequena velocidade, o circuito de potência é constituído por contactor de subida, contactor de descida, contactor de grande velocidade e contactor de pequena velocidade (Figura 2.34).

Como já referido, todos os contactores têm alimentação independente uns dos outros. No entanto, no caso de cada contactor ter terminais dos contactos de potência em «carvão», como os contactos não ficam «colados», não existe a necessidade de contactor auxiliar (no caso do elevador ser de uma velocidade).

Nos elevadores de velocidade variável cujo comando do motor eléctrico é efectuado por variador de frequência, apenas é necessário dois contactores em série no circuito de potência para cortarem a alimentação de energia ao motor eléctrico de tracção, quer no movimento de subida, quer no movimento de descida. No entanto, existem relés que comandam o sentido de movimento de subida e de descida, ambos, com alimentação independente um do outro.

2.5.2 Tecnologia Electromagnética com Controlo por Relés

Neste tipo de tecnologia, todo o circuito de controlo (ou comando) é efectuado por relés, sendo o selector de pisos do elevador electromecânico.

O circuito de potência de alimentação do motor eléctrico da máquina de tracção é efectuado por contactores. No caso do elevador ser de uma velocidade, devem obrigatoriamente existir um contactor para a subida, um para a descida e um terceiro contactor denominado de auxiliar, em série com o contactor de subida e de descida. Deste modo, é prevenido o «colar» de um dos contactores quando da interrupção da respectiva «manobra» (ou movimento) de subida ou de descida (da cabina). Cada um dos três contactores têm alimentação independente. Alguns elevadores mais antigos não têm o terceiro contactor em virtude dos terminais dos contactos serem em «carvão» e não ficarem «colados».

No caso de o elevador ser de duas velocidades a disposição dos contactores é a ilustrada na Figura 2.34, na qual se podem ver o contactor de baixar (CB), o contactor de subir (CS), o contactor da grande velocidade (CR) e o contactor da pequena velocidade (CL).

Este tipo de tecnologia é comum nos elevadores mais antigos sem porta de cabina, deste modo, o circuito de controlo também controla a rampa móvel da cabina.

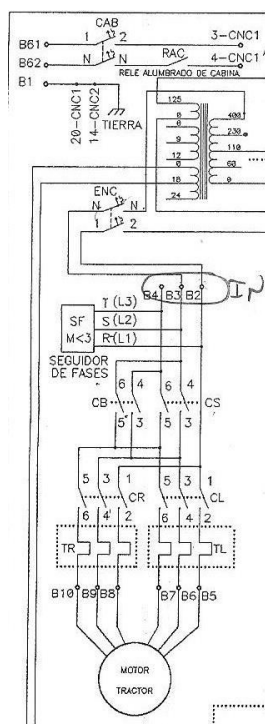


Figura 2.34 – Circuito Potência Elevador Duas Velocidades (CIA. Telecomunicaciones Aplicadas S.A., 2006)

2.5.3 Tecnologia Electromagnética com Placa de Controle

Esta tecnologia utiliza uma placa de electrónica com microprocessador, dedicada exclusivamente ao controlo do elevador, com relés embutidos, como cerne do circuito de controlo (ou comando). Os terminais dos componentes electrónicos e dos relés são soldados na própria placa.

A placa de controlo electrónica desempenha as mesmas funções que o circuito de controlo a relés com a vantagem de ser mais fácil de detectar avarias eléctricas no elevador, devido às derivações de cada sinal correspondente ao respectivo circuito nas «entradas», tais como, circuitos da série de seguranças correspondentes à casa da máquina, interior da caixa, cabina e dispositivos eléctricos de controlo do fecho e encravamento das portas de patamar e da porta de cabina caso exista.

A placa de controlo já tem incorporada o selector de pisos correspondente a um número máximo de pisos pré-determinado, podendo-se escolher quantos pisos se pretende (em relação ao selector) desde que não se ultrapasse o número máximo.

Algumas placas dispõem de circuitos opto-acopladores como isolador entre os circuitos de controlo e potência (relés).

As placas de controlo mais recentes memorizam a maior parte dos dados e parâmetros do elevador podendo o técnico de manutenção através de consola própria aceder aos mesmos e reprogramar os parâmetros permitidos. Algumas permitem a comunicação em tempo real com o fabricante do

elevador para monitorização e supervisão dos dados e parâmetros em tempo real, prevenir avarias ou responder de forma célere a situações de emergência.

O programa base feito para o microprocessador é armazenado numa EPROM⁶ devido a esta ser uma memória do tipo não volátil, enquanto numa memória EEPROM⁷ são armazenados os dados e parâmetros, tais como, se o elevador é de uma, de duas velocidades ou de velocidade variável, o parâmetro correspondente ao limitador de tempo de funcionamento do motor (ou detector de patinagem nos elevadores de roda de aderência), entre outros.

A placa de controlo electrónica dedicada tem como principais vantagens a reprogramação da EPROM ou EEPROM, mais fácil detecção de avarias eléctricas dos diferentes circuitos de segurança (como já referido), e o facto de ser produzida em série e em grandes quantidades sendo economicamente mais viável em termos de custo à empresa projectista e ao fabricante.

Tecnologia Electromagnética com Placa de Controlo, Relés e Contactores

Neste tipo de tecnologia a placa de controlo através das suas saídas a relé comanda a alimentação dos contactores do circuito de potência da máquina de tracção, dos relés ou contactores do electroíman do travão electromecânico e dos contactores do motor da porta de cabina (também denominado de «operador de porta») ou a alimentação do(s) relé(s) da rampa móvel no caso de inexistência de porta de cabina.

Tecnologia Electromagnética com Placa de Controlo e Variador de Velocidade

Neste caso, a placa de controlo também recebe e fornece informação do variador de velocidade. Este comanda as bobinas dos dois contactores de potência do motor eléctrico da máquina de tracção e os relés ou contactores do electroíman do travão electromecânico.

No caso de um elevador de passageiros é obrigatório dois contactores de potência de alimentação do motor eléctrico da máquina de tracção e apenas um no caso de monta-cargas. Os dois contactores estão em série no circuito de potência, mas a alimentação das bobinas são independentes uma da outra. Como se utiliza um variador de velocidade, ambos os dois contactores fazem o movimento de descida ou de subida.

2.5.4 Tecnologia com Controlador Lógico Programável (PLC)

Utiliza um PLC em substituição da placa de controlo electrónica, fazendo as mesmas funções desta. O selector é efectuado em linhas de código na linguagem de programação, recorrendo às funções do PLC («contadores») consoante a informação recolhida pelos sensores de posição de cabina ao longo do

⁶ Erasable Programmable Read-Only Memory

⁷ Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

curso. Tem como vantagem a facilidade de programação do *software*, a comunicação Interface Homem Máquina (HMI - Human Machine Interface), a comunicação entre dois ou mais controladores lógicos programáveis em que um faz de supervisor, assim como, a substituição por outro PLC em caso de avaria. Utiliza-se em elevadores de navios, monta-autos e alguns elevadores de pessoas e/ou carga.

Controlo efectuado por PLC e Contactores

O controlador lógico programável através das suas saídas comanda os contactores de potência do motor eléctrico da máquina de tracção, os relés ou contactores do electroíman do travão electromecânico, os contactores do motor de porta de cabina ou no caso de inexistência de porta de cabina o(s) relé(s) da rampa móvel.

Controlo efectuado por PLC e Variador de Frequência

O selector é efectuado pelo controlador lógico programável e este comanda o variador de frequência fornecendo e recebendo informação deste. Este último envia a ordem de alimentação às bobinas dos dois contactores do circuito de potência de alimentação dos enrolamentos do motor da máquina de tracção, assim como, dos relés ou contactores do electroíman do travão electromecânico.

Os PLCs vão ser abordados em mais detalhe numa secção posterior.

2.6 Tipos de sensores e actuadores utilizados em elevadores

A temática dos sensores e actuadores é bastante vasta e, como tal, torna-se necessário contextualizar os sensores e actuadores dentro da área mais específica dos elevadores.

2.6.1 Tipos de sensores

O sensor é um dispositivo que serve para captar informação e/ou medir uma grandeza (física) e detectar alterações de comportamento desta, enquanto o transdutor é um dispositivo que serve para medir uma grandeza (física) não eléctrica ou não pneumática e convertê-la numa grandeza eléctrica ou pneumática. O comando de um sensor é efectuado pela grandeza a captar.

Existem dois tipos de sensores, sendo eles:

1. Passivo;
2. Activo.

Um sensor do tipo passivo é um dispositivo que não possui energia própria e para funcionar não necessita de ser alimentado (António Francisco, 2007) devido a ser actuado por intermédio de uma acção mecânica. Possui dois estados sendo eles: actuado ou não actuado. Como exemplo de utilização num elevador temos interruptores magnéticos que indicam a posição da cabina, o sensor de fim de curso inferior (FCI) e o sensor de fim de curso superior (FCS).

Um sensor do tipo activo é um dispositivo electrónico ou pneumático que necessita de ser alimentado para funcionar. Como exemplo de aplicação em elevadores temos a célula fotoeléctrica ou a cortina fotoeléctrica aplicada na porta de cabina de movimento automático e os sensores de carga

piezoelétricos do dispositivo de controlo de carga («pesa-cargas») aplicados nos cabos de suspensão ou na base da cabina entre esta e a arcada.

Quanto ao estado, um sensor pode ser do tipo:

1. Monoestável;
2. Biestável.

O sensor monoestável tem um estado estável, permanecendo nele por tempo indefinido, excepto se receber um estímulo externo para dele sair, no entanto, assim que cessa o efeito desse estímulo volta ao estado em que se encontrava inicialmente.

O sensor biestável tem dois estados estáveis, podendo permanecer num dos seus dois estados de cada vez por tempo indefinido, passando de um estado para outro, por intermédio de estímulo externo. Tem aquilo que se designa de «efeito de memória».

Caracterização do sensor de fim de curso de segurança (FCI e FCS)

Este tipo de sensor é de actuação mecânica e quando actuado provoca a abertura de um contacto do tipo normalmente fechado (NF) interrompendo o circuito de comando respectivo. Assim que é desactuado mecanicamente, o contacto volta à sua posição normal de repouso por intermédio de mola, ou seja, à posição normalmente fechada. É um sensor do tipo passivo e monoestável.

Caracterização do sensor do tipo interruptor magnético também denominado de *reed-switch*

Este tipo de sensor é composto por duas lâminas de material ferromagnético, sobrepostas, muito próximas uma da outra, com um espaço entre elas, inseridas numa âmpola de vidro, selada com gás inerte para evitar a deformação mecânica das lâminas e sua oxidação. É accionado por um campo magnético criado por íman ou electroíman na sua proximidade, fazendo com que haja contacto físico entre as duas lâminas. A área de contacto de ambas as lâminas é banhada com uma liga de Ródio/Ruténio para a resistência de contacto ser mínima e para permitir a durabilidade dos contactos para potências até 15 W. Para comutação de potências mais altas até 100 W são banhadas a tungsténio, cujo ponto de fusão é mais alto aguentando maiores temperaturas (Newton Braga, 2009).

No caso especial dos elevadores é apenas accionado por íman e serve para «ler» a posição da cabina ao longo do curso desta, sinal esse «enviado» à placa de controlo ou controlador lógico programável do elevador. Este sensor de actuação magnética pode ser do tipo monoestável ou do tipo biestável. Os sensores do tipo monoestável podem ser do tipo normalmente aberto (NA) ou do tipo normalmente fechado (NF). O sensor do tipo biestável tem efeito de memória.

2.6.2 Tipos de actuadores

Apesar do conceito de actuadores variar consoante cada autor, nesta dissertação consideram-se actuadores os contactores e relés comandados pelo PLC. Deste modo, tal como num elevador de uma ou de duas velocidades, os contactores de subida e de descida comandam o sentido de rotação do

motor eléctrico de tracção e os dois relés a abertura do travão electromecânico da máquina de tracção por intermédio do seu electroíman.

2.7 Motor assíncrono trifásico

O motor assíncrono trifásico é um motor de corrente alternada, de indução, polifásico. Devido à sua construção, robustez, fiabilidade e baixo custo é, por excelência, o motor mais utilizado em elevadores. É constituído pelo estator e rotor. Quanto ao tipo de rotor existem dois tipos de motores sendo eles o motor assíncrono trifásico de rotor em gaiola de esquilo e o de rotor bobinado. Uma vez que no âmbito desta dissertação o elevador monta-cargas a projectar utiliza o motor assíncrono trifásico de rotor em gaiola de esquilo, dar-se-á ênfase a este tipo de motor em detrimento do segundo.

2.7.1 Constituição do motor assíncrono trifásico

Este tipo de motor ilustrado na Figura 2.35 é constituído pelo estator que é a parte fixa, e pelo rotor que é a parte móvel. Do estator fazem parte a carcaça em alumínio com núcleo de chapas ferromagnéticas laminadas, empilhadas e isoladas entre si, em cujas cavas ou ranhuras na sua periferia interior são colocados os enrolamentos das bobinas alimentados pela corrente alternada trifásica da rede. Do rotor fazem parte o eixo e núcleo de chapas ferromagnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio que funcionam como condutores, dispostas paralelamente entre si e unidas nas extremidades por intermédio de dois anéis condutores, igualmente em alumínio, que curto-circuitam as barras anteriormente referidas (José Matias, 1990). O espaço entre o estator e o rotor é denominado de entreferro e é preenchido por ar. Ao veio do rotor é acoplado o veio da caixa redutora (do tipo parafuso sem-fim/roda de coroa) a accionar.

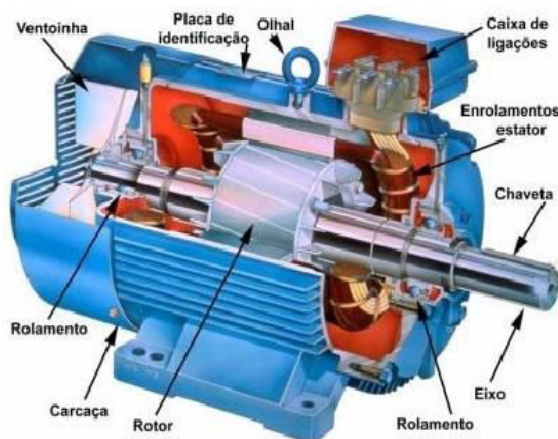


Figura 2.35 – Motor Assíncrono Trifásico (Portal Eletricista, 2013)

2.7.2 Funcionamento do motor assíncrono trifásico

No motor assíncrono trifásico é criado um campo magnético girante por um conjunto de três bobinas colocadas no estator e desfasadas entre si de 120°, alimentadas por um sistema trifásico de correntes com uma frequência de alimentação de 50 Hz e defasagem de 120° (José Matias, 1990).

O princípio de funcionamento deste motor baseia-se na lei geral da indução.

Neste motor, o rotor tem condutores em curto-circuito não sendo alimentado do exterior e as suas correntes são induzidas pelo campo do estator (Mário Ventim Neves, 2016). O campo girante do estator passa pelo rotor, que o sente como se fosse um campo variável no tempo. Por indução, surgem correntes nos condutores curto-circuitados do rotor. Estas correntes rotóricas criam um campo magnético, com o qual o campo girante interage, arrastando-o à sua velocidade. O campo girante do rotor interage com o do estator, prendendo-se a este, sendo rebocado por ele, andando juntos em sincronismo tal como no motor síncrono. Como o campo rotórico não está fixo em relação ao rotor, o rotor não gira à velocidade de sincronismo. Os campos andam síncronos mas “escorregam” sobre o rotor, o qual anda assíncrono daí o outro nome desta máquina, de motor assíncrono trifásico. Se o rotor girasse à velocidade de sincronismo dos campos, o campo girante do estator estaria parado em relação ao rotor, e este não sentiria campo variável, e deixaria de haver indução de correntes no rotor, pelo que o motor não funcionava.

2.7.3 Variação da velocidade no motor assíncrono trifásico

A velocidade de sincronismo de uma máquina assíncrona trifásica, ou a velocidade do campo magnético girante do estator, representada pela equação (2.2), está relacionada com a frequência da rede de energia eléctrica pela seguinte expressão:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (2.2)$$

Onde:

N_s é a velocidade de sincronismo ou do campo magnético girante do estator [r.p.m]

f é a frequência eléctrica da rede (de alimentação) [Hz]

p é o número de pares de pólos

Conforme explicado em 2.7.2, no caso do motor assíncrono trifásico, existe um atraso na velocidade do rotor em relação à velocidade do campo magnético do estator. Este atraso é denominado de escorregamento s , o qual vem dado em percentagem da velocidade de sincronismo (Cláudio Barroso, 2002), pela expressão (2.3):

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.3)$$

Onde:

s é o escorregamento [%]

N_s é a velocidade de sincronismo ou do campo magnético girante do estator [r.p.m.]

N_r é a velocidade do rotor [r.p.m.]

Deste modo, para variar a velocidade de um motor assíncrono trifásico é necessário variar o número de pares de pólos do motor ou a frequência eléctrica da rede de alimentação.

No primeiro caso, é necessário ter um motor dimensionado do ponto de vista de projecto e construção, enquanto no segundo dada a impossibilidade de modificar do ponto de vista de construção um motor já existente numa instalação de elevação, basta apenas comandar o motor com variador de velocidade para alterar a velocidade de funcionamento do motor.

O primeiro caso enunciado anteriormente aplica-se aos motores assíncronos trifásicos de elevadores de duas velocidades, em que a máquina e correspondente cabina arranca em grande velocidade e quando a cabina está a chegar ao patamar de destino muda para pequena velocidade.

Existem excepções em que são utilizados dois motores acoplados um ao outro que fazem ambos parte da máquina de tracção, em que o motor mais pequeno e comprido faz a grande velocidade e o motor com diâmetro maior em relação ao primeiro e menos comprido faz a pequena velocidade.

2.8 Curvas típicas de funcionamento de um elevador eléctrico de transporte de pessoas

A Figura 2.36 representa de um modo sucinto o sistema de movimento de um elevador de uma velocidade. Nela é possível ver a interacção entre os contactores de movimento de subida e de descida que comandam o motor eléctrico e o travão electromecânico (freio) da máquina de tracção consoante a informação dos sensores de detecção de paragem da cabina à descida e de detecção de paragem da cabina à subida, a série de (dispositivos de) segurança e selecção de patamar de destino por parte do utilizador (apesar de não representado).

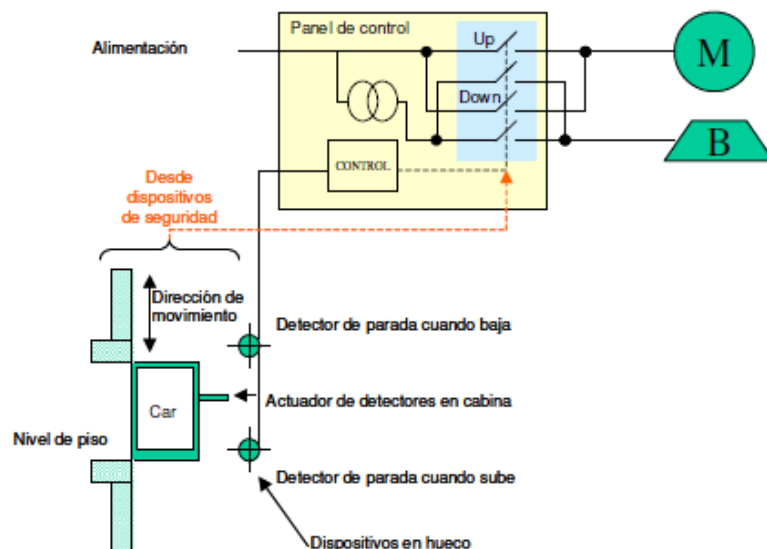


Figura 2.36 – Sistema de paragem de um elevador de uma velocidade (Schneider Electric, 2007)

A Figura 2.37 representa o gráfico da curva típica de velocidade em relação ao tempo de um elevador de uma velocidade, desde o patamar de origem até ao de destino. Este gráfico é constituído por três zonas sendo elas a zona de aceleração, zona de velocidade nominal e zona de desaceleração. O motor eléctrico de tracção (e consequentemente a cabina) inicia o movimento assim que é dada a ordem de movimento (Run), acelera até atingir a velocidade nominal, e desacelera assim que é dada a ordem para tal quando a cabina passa pelo respectivo sensor e está a chegar ao patamar de paragem pretendido.

Convém referir que a aceleração depende da carga que a cabina transporta, a desaceleração e a posição de paragem depende da carga e da fricção do travão (freio).

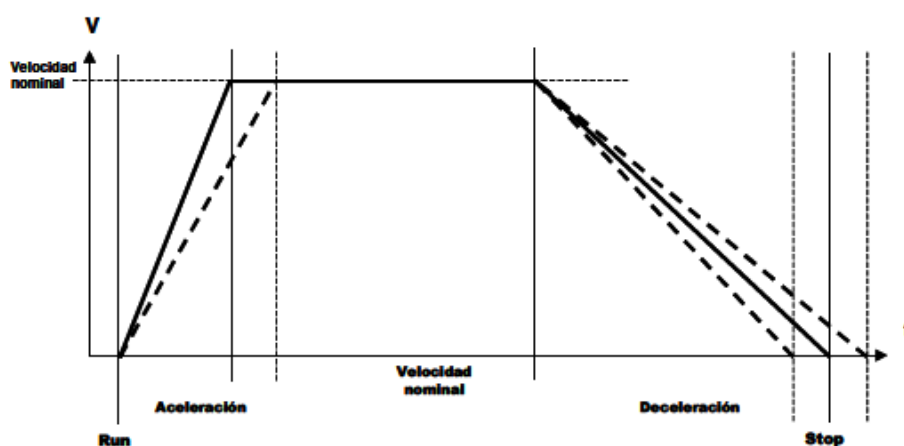


Figura 2.37 – Curva típica de movimento de um elevador de uma velocidade (Schneider Electric, 2007)

A variação de velocidade permite o aumento do tempo de vida do elevador devido às partes mecânicas estarem sujeitas a acelerações e desacelerações mais suaves, assim como, um maior conforto para os

passageiros e carga a transportar. Também permite uma paragem mais precisa ao piso ou patamar de destino, normalmente, abaixo dos 2 cm.

A Figura 2.38 elucida quanto à variação de velocidade por intermédio de variador de frequência. Nela é possível ver as curvas de aceleração e desaceleração, assim como, todo o processo inerente à máquina de tracção.

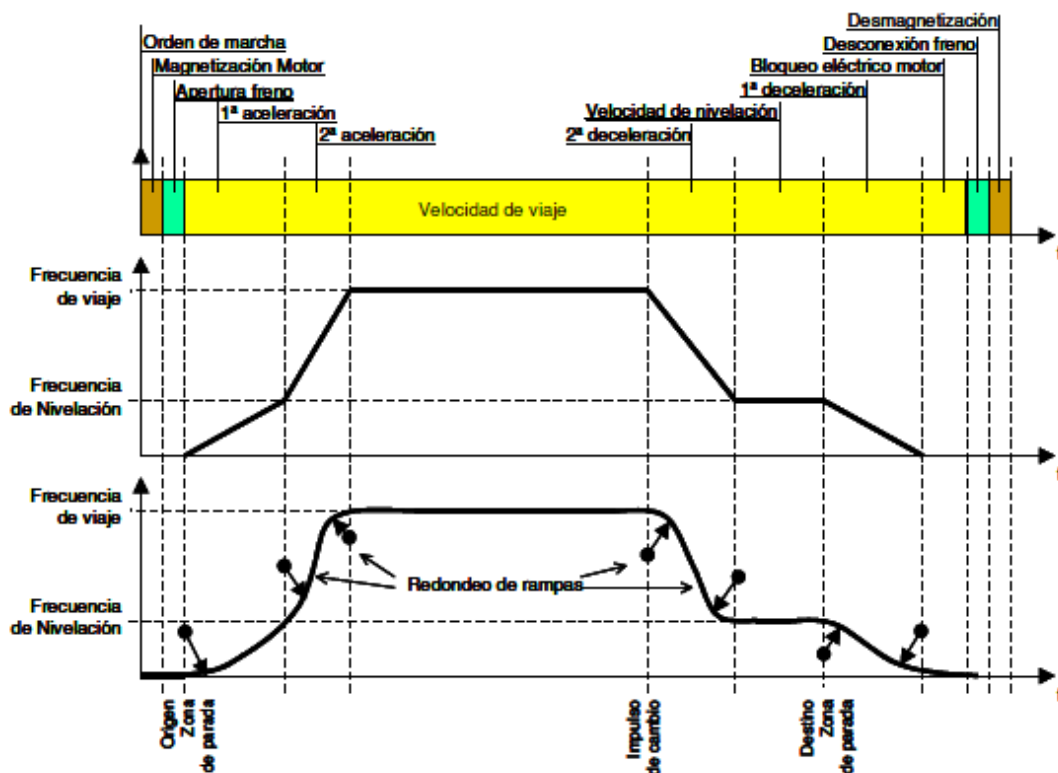


Figura 2.38 – Curva típica de movimento de um elevador com variador de frequência (Schneider Electric, 2007)

2.9 Controlador Lógico Programável

O controlador lógico programável (*Programmable Logic Controller - PLC*) também conhecido por autómato programável é o nome dado a um tipo de computador utilizado em aplicações de controlo comerciais e industriais (Electrical Engineering Portal, 2016). Difere de um computador de escritório devido às tarefas que executa, e devido ao *software* e *hardware* que utiliza para executar essas tarefas (Electrical Engineering Portal, 2016). Conforme mencionado em (António Francisco, 2007) é utilizado no comando de circuitos de automatismos, nomeadamente no que se refere ao accionamento de motores eléctricos (de elevadores) por intermédio de contactores ou outro equipamento eléctrico (electroímans de travão electromecânico ou de rampa móvel de elevadores) por intermédio de relés, ou electroválvulas em circuitos de pneumáticos ou servo-válvulas em circuitos óleo-hidráulicos sem esquecer o acender de lâmpadas sinalizadoras e o accionamento de alarmes sonoros.

2.9.1 Arquitectura de um Controlador Lógico Programável

A arquitectura de alto nível de um PLC em forma de blocos está ilustrada da Figura 2.39, da qual fazem parte (António Francisco, 2007):

- Alimentação;
- Unidade Central de Processamento (*Central Processing Unit - CPU*);
- Memória do Autómato repartida em Memória de Sistema, Memória de Programa e Memória de Dados;
- Entradas (*Inputs*);
- Saídas (*Outputs*);
- Porta de Periféricos.

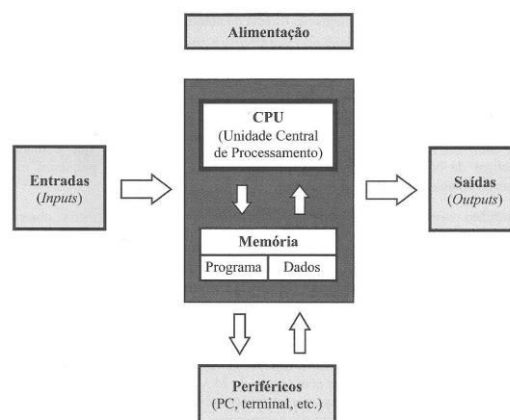


Figura 2.39 – Estrutura básica de um PLC (António Francisco, 2007)

De seguida descreve-se a função de cada bloco.

Alimentação

Proporciona a tensão eléctrica necessária ao funcionamento do PLC podendo este ser alimentado a +24 V CC através de uma fonte de alimentação externa ou a partir da rede eléctrica de energia a 230 V CA.

Unidade Central de Processamento (*Central Processing Unit - CPU*)

É um microprocessador e é o «cérebro» do controlador lógico programável. Efectua as operações aritméticas e lógicas e as funções de controlo (António Francisco, 2007). Lê o estado dos valores lógicos das entradas presentes na memória, executa as operações segundo as instruções que constituem o programa e actualiza na memória o valor das saídas (António Francisco, 2007). Também efectua a gestão dos periféricos e o diagnóstico de erros que possam ocorrer internamente (António Francisco, 2007).

Memória do Autómato

Esta é repartida em memória de sistema na qual se encontra gravado o programa do sistema operativo do PLC, memória de programa na qual é guardado o programa da aplicação e memória de

dados onde são guardados os valores das entradas, das saídas, os resultados das operações realizadas pela CPU e os dados necessários à execução do programa (António Francisco, 2007).

Entradas (*Inputs*)

As entradas do PLC estão ligadas aos dispositivos que fornecem informação sobre o processo, nomeadamente os sensores, transdutores e botões de pressão. Podem ser do tipo digital (tudo ou nada) ou do tipo analógico.

Saídas (*Outputs*)

É por intermédio das saídas do PLC que são comandados os actuadores ou os manobreadores de potência (Luís Palma, 2014g) tais como relés, contactores, bobinas de electroválvulas ou servo-válvulas, pequenos motores, lâmpadas sinalizadoras e alarmes sonoros. Podem ser do tipo digital (tudo ou nada), sendo neste caso, realizadas a relés, transístores ou triacs ou do tipo analógico.

Periféricos

São dispositivos que se conectam ao PLC, por intermédio das sua porta de comunicação, sendo o mais usual o computador, por ser o meio de programação mais comum e permitir visualizar o estado das variáveis de entrada, das variáveis de saída e algumas variáveis internas, tais como contadores, temporizadores e memórias do tipo binário ou do tipo word ou de sistema do PLC, através do seu *software* específico. Outros exemplos de periféricos são a consola de interface homem máquina (*Human Machine Interface - HMI*), na qual se podem observar as variáveis anteriormente referidas.

2.9.2 Vantagens do Controlador Lógico Programável

Antes de referir as vantagens de um PLC convém apresentar a definição de lógica cablada e lógica programada. Deste modo, segundo (António Francisco, 2007; OMRON, 2014) lógica cablada é aquela em que o funcionamento do automatismo é determinado pela interligação física dos condutores (cablagem) entre os diferentes elementos constituintes do automatismo tais como, contactores, relés, temporizadores, etc. em que a alteração do processo implica refazer a cablagem. Um circuito de comando eléctrico é exemplo de lógica cablada. Lógica programada é aquela em que o elemento de comando é o PLC e o funcionamento do automatismo é determinado pelo programa armazenado na memória deste, isto é, existe um conjunto de instruções ou códigos que são programados na memória do sistema que se chama programa, em que a alteração da lógica do processo a controlar apenas requer a alteração do programa.

A utilização de um controlador lógico programável utilizado em automação programável ou flexível face a um «cérebro» constituído por um grande número de dispositivos (tecnologia electromagnética a relés e temporizadores) e circuitos de comando utilizado em automação fixa tem como vantagens (António Francisco, 2007):

- **Utilização de menos componentes (dispositivos)**

Grande parte das linhas de instrução de programa (efectuadas pelo programador) substituem os dispositivos utilizados de tecnologia electromagnética a relés e temporizadores.

- **Menos espaço requerido**

O espaço ocupado pelo automatismo («cérebro») é menor em virtude da utilização de menos componentes (dispositivos).

- **Menor tempo de montagem**

Devido à utilização de menos componentes o tempo de montagem é menor.

- **Facilidade de modificação**

O programa que substitui os dispositivos e circuitos acima referidos é uma sequência de instruções efectuadas pelo programador que podem ser alteradas por intermédio de um computador ou consola (para reconfiguração do sistema de controlo automático).

- **Facilidade de diagnóstico e detecção de avarias**

Permite detectar avarias consoante o sinal eléctrico correspondente ao respectivo circuito nas entradas do PLC.

- **Ligação em rede a outro PLC de supervisão, a outros computadores ou consola HMI**

Permite a ligação em rede a outro PLC ou a uma rede de computadores para supervisão e monitorização, assim como a uma consola HMI para monitorização.

2.9.3 Classificação de um Controlador Lógico Programável

Um controlador lógico programável pode classificar-se em **compacto** (Figura 2.40) ou **modular** (Figura 2.41). No primeiro caso, no mesmo bloco, são integrados todos os elementos necessários ao seu funcionamento tais como a fonte de alimentação, Unidade Central de Processamento (CPU), entradas, saídas e periféricos. No segundo caso, é constituído por vários módulos que se associam, cada qual, com a configuração ideal consoante a aplicação a que se destina, por exemplo um módulo corresponde às entradas e saídas digitais e outro às entradas e saídas analógicas.



Figura 2.40 – PLC Compacto



Figura 2.41 – PLC Modular

2.9.4 Funcionamento de um Controlador Lógico Programável

O controlador lógico programável, por intermédio das suas entradas, lê as informações provenientes dos sensores (interruptores magnéticos, fins-de-curso e outros dispositivos), colocados na instalação (ou processo), e de acordo com o programa armazenado na sua memória (de sistema), envia ordens (de comando), por intermédio das suas saídas, para os actuadores (contactores, relés, bobinas de electroímans, pequenos motores, lâmpadas e alarmes sonoros) (António Francisco, 2007).

Convém referir que existem três tipos de variáveis sendo elas as variáveis externas de entrada, variáveis externas de saída e variáveis internas. As variáveis externas de entrada são os sinais que o PLC recebe dos sensores e fornecem informações ao programa, enquanto as variáveis externas de saída são os sinais que o PLC envia aos actuadores, que actuam sobre a parte operativa da instalação (António Francisco, 2007). As variáveis internas são os sinais que o PLC utiliza como resultado de operações lógicas ou aritméticas realizadas pelo programa (António Francisco, 2007), assim como, contadores, temporizadores e memórias do tipo binário, do tipo word e de sistema.

As variáveis de entrada ou de saída podem ser de dois tipos (António Francisco, 2007; Luís Baptista, 2012; Luís Palma, 2014g):

- **Digitais**

Do tipo tudo ou nada (1 ou 0), ligado ou desligado, tipicamente 24 V CC ou 0 V CC.

Como exemplo de entrada digital, na parte de comando, um interruptor magnético que pode estar fechado ou aberto. Como exemplo na parte operativa, um contactor que cuja bobina pode estar energizada ou desenergizada e consequentemente um motor eléctrico que pode estar a funcionar ou parado.

- **Analógicas**

Em que a variação é contínua. Quando fornecidos em tensão na gama [0;10] V ou na gama [-10;+10] V ou na gama [1;5] V e quando fornecidos em corrente na gama [4;20] mA.

Como exemplo na parte de comando, tem-se o valor fornecido por um termistor. Como exemplo na parte operativa temos a regulação de velocidade de um motor eléctrico.

Fases de Funcionamento num Controlador Lógico Programável

Conforme representado na Figura 2.42 e segundo o enunciado em (António Francisco, 2007), o **tempo de ciclo** (*scan cycle*) de um PLC, com leitura cíclica, corresponde ao tempo decorrido entre a leitura das entradas e a actualização das saídas. Funciona por fases que se repetem continuamente sendo elas:

1. Leitura do estado das variáveis de entrada;
2. Execução do programa;

3. Actualização das variáveis de saída.

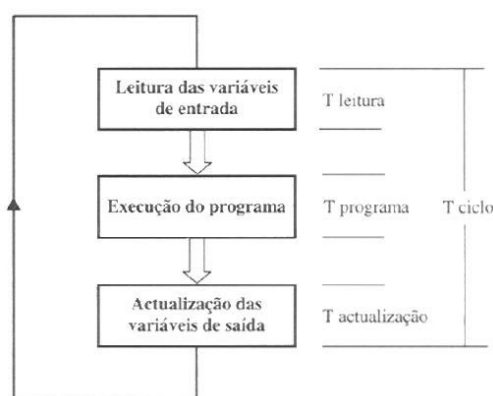


Figura 2.42 – Tempo de ciclo de um PLC (António Francisco, 2007)

De seguida, explicam-se as fases anteriormente referidas.

Leitura do estado das variáveis de entrada: nesta fase inicial, procede-se à leitura dos sinais (eléctricos) de entrada provenientes dos sensores e transdutores através das entradas do PLC, os quais serão fixos para todo o ciclo e guardados na memória de dados.

Execução do programa: no decorrer desta fase, tendo em conta o programa existente na memória de programa do PLC e as informações presentes na memória de dados, executa-se o programa e consequentemente, todas as instruções desde a primeira até à última de forma sequencial.

Actualização das variáveis de saída: nesta fase final, o valor das variáveis de saída, resultantes da execução do programa, contidos na memória de dados, no final de cada ciclo de programa (*scan*) são transferidos para as saídas do PLC e consequentemente para os actuadores (António Francisco, 2007). Após as actualizações das saídas o PLC passa ao ciclo seguinte, o qual se reproduz indefinidamente. Convém referir que todo o programa é executado em cada ciclo.

Considerações a ter em conta em relação às fases de funcionamento

Conforme mencionado na referência (António Francisco, 2007) no início do ciclo, procede-se à memorização prévia das variáveis de entrada na memória de dados para evitar alterações nas mesmas no decorrer do ciclo de programa. Efectua-se o tratamento das mesmas, a partir do estado das variáveis memorizado, sendo este igual para toda a duração do ciclo.

No final do ciclo, procede-se à actualização das variáveis de saída quando todos os comandos a transmitir para o exterior já estão definidos (António Francisco, 2007).

A Unidade Central de Processamento (CPU) é a responsável pela execução da leitura das variáveis de entrada e actualização das variáveis de saída sem necessidade de programação por parte do utilizador (António Francisco, 2007).

Como referido anteriormente, um aspecto importante a ter em conta num PLC, é o tempo de ciclo (*scan*), o qual corresponde ao tempo decorrido entre a leitura das entradas e a actualização das saídas. Convém referir que este tempo é da ordem dos milissegundos.

No caso de o automatismo ser de pequena ou média complexidade, utiliza-se a estrutura do tipo monotarefa devido ao tempo de resposta do PLC ser compatível com as exigências do processo. No caso de automatismos de grande complexidade, devido à grande quantidade de informação a processar são utilizadas estruturas de tratamento da informação repartidas por vários PLC's (António Francisco, 2007).

2.9.5 Programação de um Controlador Lógico Programável

Devido à existência de várias marcas de fabricantes de controladores lógicos programáveis e à impossibilidade de programar as mesmas com linguagens de programação escritas exactamente da mesma maneira (António Francisco, 2007), tornou-se necessário normalizar, homologar e estabelecer as regras para a escrita das linguagens de programação de acordo com um padrão internacional. Deste modo, criou-se a norma IEC 1131-3, actual IEC 61131-3 (*Programmable controllers Part 3: Programming languages*) – Autómatos programáveis Parte 3: Linguagens de programação (António Francisco, 2007). Convém referir que estas linguagens de programação foram especialmente concebidas para automatismos sendo necessário o conhecimento da álgebra de Boole.

As linguagens de programação consagradas na presente norma são as seguintes:

- Linguagem em Diagrama de Contactos (*Ladder Diagram – LD*);
- Linguagem em Lista de Instruções (*Instruction List – IL*);
- Linguagem em Diagrama Funcional em Sequência (*Sequential Function Chart – SFC baseada em Grafcet*);
- Linguagem em Diagrama de Blocos de Funções (*Function Block Diagram – FBD*);
- Linguagem em Texto Estruturado (*Structured Text – ST*).

Linguagem em Diagrama de Contactos

É uma linguagem gráfica que deriva da linguagem de relés e utiliza um conjunto de símbolos gráficos para elaborar o programa do automatismo, os quais incluem três formas básicas sendo elas (António Francisco, 2007):

- Contactos: representam as condições lógicas de entrada, tais como dos interruptores, botões de pressão e condições internas.
- Bobinas: representam as condições lógicas de saída e actuam sobre contactores, relés, bobinas, motores, lâmpadas e alarmes, podendo também representar condições internas de saída.
- Blocos de função: representam operações adicionais, tais como temporizadores, contadores, memórias internas e operações aritméticas.

A Figura 2.43 ilustra a função lógica $S = (a + /b) \cdot c$ em linguagem de Diagrama de Contactos (LD).

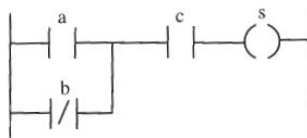


Figura 2.43 – Exemplo de um programa em Linguagem LD (Luís Palma, 2014e)

Linguagem em Lista de Instruções

Este tipo de linguagem é a representação do equivalente da linguagem em diagrama de contactos em formato de texto (Luís Palma, 2014b). Consiste num conjunto de instruções (linhas de código ou programa), representadas por mnemónicas, que indicam as acções ou operações que o programa executa sequencialmente e linha a linha, nomeadamente, funções lógicas simples (*And* lógico e *Or* lógico), funções de comparação (=, > e <) e funções pré-programadas (temporizadores, contadores) (António Francisco, 2007).

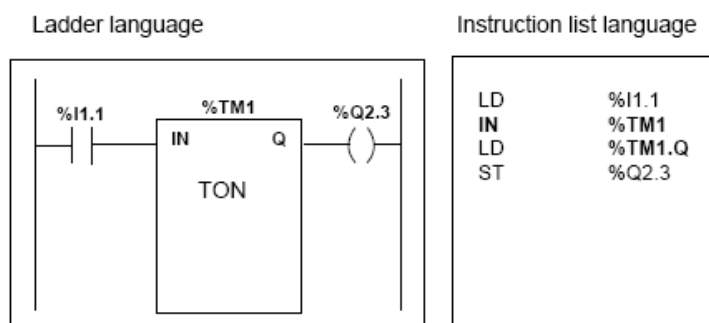


Figura 2.44 – Exemplo de um programa em Linguagem IL (à direita) (Luís Palma, 2014b)

Como referido, o programa em lista de instruções é constituído por um conjunto de linhas (de código), com uma determinada ordem (sequência), escritas com as instruções do controlador lógico programável a utilizar (António Francisco, 2007).

Este tipo de linguagem tem como vantagens face às linguagens gráficas o facto de correr muito mais rápido no PLC por ser mais compacta e ocupar menos espaço na memória do mesmo (Rexroth, 2009), sendo semelhante à linguagem literal nativa de programação da Unidade Central de Processamento (CPU) (António Francisco, 2007).

Esta linguagem foi a escolhida para programar as transições da Linguagem em Diagrama Funcional em Sequência (SFC) do sistema de controlo do elevador monta-cargas a projectar.

Linguagem em Diagrama Funcional em Sequência

É a descrição gráfica e estruturada da parte sequencial de um sistema de controlo utilizando objectos gráficos (Luís Palma, 2014c). Este tipo de linguagem foi uma das utilizadas para efectuar o sistema de controlo do monta-cargas a projectar em virtude de se pretender controlar um processo sequencial que é o caso do elevador monta-cargas em causa.

Este tipo de linguagem é a implementação da linguagem de especificação Grafcet para diagramas funcionais sequenciais (SFC) através da norma IEC 1131-3, actual IEC 61131-3 que estabelece as regras para as linguagens de programação de controladores lógicos programáveis, de acordo com um padrão internacional (António Francisco, 2007). O Grafcet (*Gráfico Funcional de Comando Etapa Transição*) é o método que melhor se adapta à resolução de problemas de automatização de processos sequenciais. Este método foi homologado em França à época e permite descrever de uma forma gráfica e estruturada (em forma de diagrama) as fases de funcionamento de um automatismo sequencial de um modo claro, simples e de fácil compreensão permitindo a resolução de avarias com mais facilidade e de forma mais rápida (António Francisco, 2007).

Em Grafcet e consequentemente em linguagem SFC, o automatismo sequencial pode ser representado por meio de uma série de etapas que evoluem umas para as outras, quando determinadas condições chamadas transições se verificam. Deste modo, é constituído pelos seguintes objectos gráficos (António Francisco, 2007; Luís Palma, 2014c):

- Etapas: as quais correspondem aos estados do sistema e estão associadas as acções a realizar pelo automatismo, que são comandos enviados para o processo ou instalação quando a etapa está activa.
- Transições: às quais podem ser associadas condições de transição e que correspondem à possibilidade de passagem do estado activo de uma etapa para a(s) seguinte(s).
- Arcos direccionados ou ligações orientadas: que ligam uma etapa a uma transição ou uma transição a uma etapa.

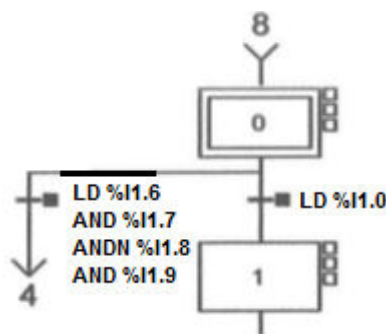


Figura 2.45 – Exemplo de um programa em linguagem SFC

Linguagem em Diagrama de Blocos de Funções

É uma linguagem gráfica que expressa o fluxo de dados entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída [Palma FBD] através da combinação de blocos de funções que determinam as funções lógicas a ser implementadas (Luís Baptista, 2013).

A Figura 2.46 ilustra a função lógica $S = (a + /b) \cdot c$ em linguagem de Diagrama de Blocos de Funções (FBD).

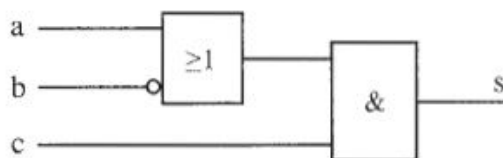


Figura 2.46 – Exemplo de um programa em Linguagem FBD (Luís Palma, 2014e)

Linguagem em Texto Estruturado

É uma linguagem de alto nível estruturada desenhada para processos de automatização baseada em escrita de caracteres alfanuméricos (Luís Palma, 2014d). Esta linguagem algorítmica desenvolvida é especialmente adaptada para programar funções aritméticas complexas, manipular tabelas e efectuar a gestão de mensagens (Schneider Electric, 1997). A parte “estruturada” refere-se à programação de alto nível e a parte de “texto” à utilização de texto em vez de símbolos como acontece nas linguagens de diagrama de contactos (LD), diagrama de blocos de funções (FBD) e diagrama funcional em sequência (SFC).

A Figura 2.47 ilustra um exemplo de linguagem em Texto Estruturado (ST).

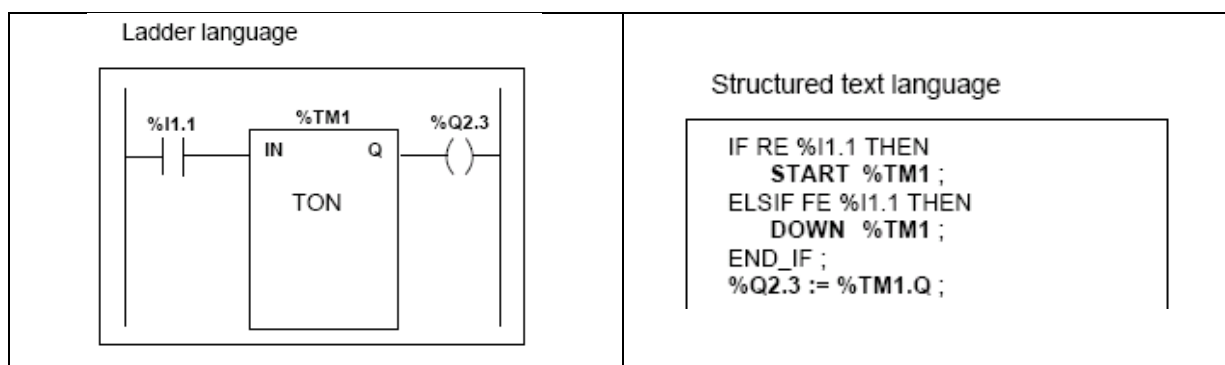


Figura 2.47 – Exemplo de um programa em Linguagem ST (à direita) (Luís Palma, 2014b)

Este tipo de linguagem, comumente com a linguagem em Diagrama Funcional em Sequência (SFC), foi uma das duas linguagens escolhidas, utilizadas em programação concorrente para efectuar o sistema de controlo do elevador monta-cargas a projectar, em virtude da troca de dados entre os programas concorrentes ser facilitada devido à utilização de variáveis internas do tipo memórias binárias e memórias do tipo word, optimizando o código a nível global e um melhor desempenho do automatismo (Luís Palma, 2014a).

2.10 Variador de Frequência, Arquitectura e Funcionamento

Como referido em 2.7.3 este dispositivo serve para variar a velocidade do motor assíncrono trifásico. Apesar de existirem vários tipos de controlo, foi dada ênfase ao controlo escalar o qual impõe ao motor de tracção uma determinada tensão/frequência, visando manter a relação V/f constante do motor eléctrico do elevador, ou seja, o motor trabalha com um fluxo aproximadamente constante (Claiton Franchi, 2009).

A Figura 2.48 ilustra a arquitectura de alto nível de blocos de um variador de frequência. Nela podem-se ver os seguintes blocos (Claiton Franchi, 2009):

- Unidade Central de Processamento (*Central Processing Unit - CPU*);
- Interface Homem Máquina (*Human Machine Interface - HMI*);
- Módulo de entradas e saídas analógicas;
- Módulo de entradas e saídas discretas (digitais);
- Bloco de potência.

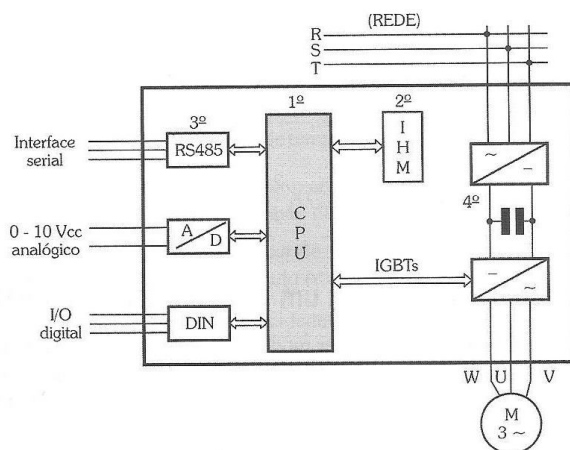


Figura 2.48 – Blocos componentes de um variador de frequência (Claiton Franchi, 2009)

A função de cada bloco detalha-se de seguida.

Unidade Central de Processamento (*Central Processing Unit - CPU*)

Dela fazem parte um microprocessador ou um microcontrolador, o qual armazena e faz a gestão de todas as informações, tais como, parâmetros e dados do sistema relativos ao equipamento, assim como, executa a função mais importante do variador de frequência que é a geração dos pulsos de disparo, através de uma lógica de controlo coerente, para os IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor - Transistor Bipolar de Porta Isolada*).

Interface Homem Máquina (*Human Machine Interface - HMI*)

Serve para visualizar e parametrizar os parâmetros do variador de frequência de acordo com a aplicação em vista e ligar a um computador ou dispositivo de supervisão.

Módulo de entradas e saídas analógicas

No caso da parte referente às entradas analógicas, serve, por exemplo, para comandar o variador de frequência por intermédio de um dispositivo externo e, por intermédio do variador, através das suas saídas analógicas, comandar e controlar a velocidade de rotação de um motor eléctrico de corrente alternada CA, utilizando tensão analógica de comando. Normalmente, a velocidade de rotação é proporcional ao valor da tensão analógica de controlo.

Um dos objectivos de projecto do sistema de automatismo do elevador monta-cargas em causa no âmbito desta dissertação, é o envio de sinais analógicos em tensão do controlador lógico programável

para o variador de frequência, entre 0 a +10 V CC, e o controlo da frequência de saída do variador a aplicar ao motor assíncrono trifásico.

Módulo de entradas e saídas discretas (digitais)

Este módulo serve para comandar o variador de frequência através do envio de sinais discretos em tensão e, comandar por intermédio deste, relés e contactores através do envio de sinais discretos. Este sistema costuma-se utilizar em elevadores para comandar as respectivas máquinas de tracção.

Bloco de potência

É constituído pelo circuito rectificador, circuito intermédio (filtro ou *link* CC), circuito inversor de saída (também denominado de ondulator) e circuito de controlo. A Figura 2.49 ilustra o circuito do bloco de potência de um variador de frequência (Claiton Franchi, 2009).

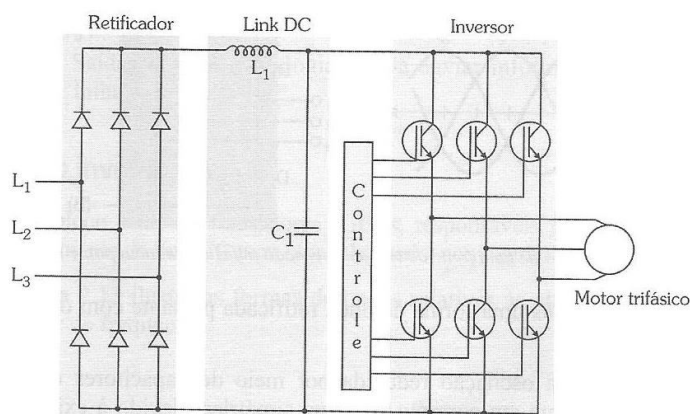


Figura 2.49 – Diagrama esquemático do circuito do bloco de potência de um variador frequência (Claiton Franchi, 2009)

O circuito rectificador tem como função rectificar a tensão alternada sinusoidal da rede de alimentação de energia eléctrica, por intermédio de díodos que permitem a passagem de corrente do ânodo (A) para o cátodo (C), não sendo possível contudo controlar a intensidade de corrente desta. Uma tensão alternada sinusoidal sobre um díodo é convertida numa tensão contínua pulsante. Do mesmo modo, utilizando uma fonte trifásica junto com um rectificador não controlado, a tensão contínua continua a ser pulsante. Assim, torna-se necessário a utilização do circuito intermédio, também designado de filtro ou *link* CC, cujo objectivo é regular a tensão rectificada por intermédio de um banco de condensadores antes da entrada no inversor.

O circuito inversor, também denominado de ondulator, através dos transistores IGBTs, é responsável pela inversão da tensão contínua proveniente do circuito intermédio num sinal alternado, com tensão e frequência variáveis a aplicar aos enrolamentos do motor assíncrono trifásico (de indução).

O circuito de controlo fornece a lógica para controlar os IGBTs, os quais actuam de modo a alterar o sentido de corrente que circula pelo motor. A frequência de comutação destes depende do tipo de semicondutor utilizado e situa-se entre os 300 Hz e os 20 kHz (Claiton Franchi, 2009). O controlo dos

IGBTs, é efectuado pelo circuito de controlo (comando), de modo a obter um sistema de tensão alternado em que as frequências estão desfasadas 120° (Claiton Franchi, 2009).

Os transístores disparam modulando a sua largura de pulso através de uma técnica chamada de PWM (*Pulse With Modulation*). Por meio da utilização de um microprocessador as funções de controlo de PWM são utilizadas através da combinação de uma onda triangular e de uma onda sinusoidal que produzem a forma de onda da tensão de saída. A Figura 2.50 ilustra as formas de onda da tensão e de corrente na saída do variador de frequência (Claiton Franchi, 2009).

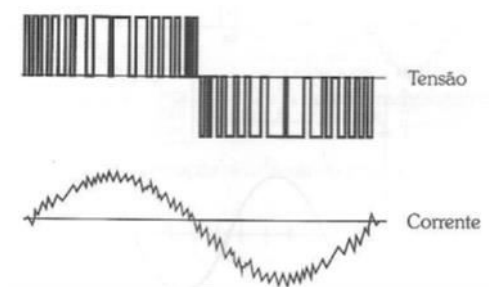


Figura 2.50 – Formas de onda de tensão e de corrente na saída do variador de frequência (Claiton Franchi, 2009)

2.11 Legislação portuguesa

Esta secção visa mostrar de um modo bastante sucinto, o papel regulador da legislação na concepção, fabrico, instalação, ensaios, controlo dos respectivos componentes de segurança, colocação no mercado, manutenção, utilização de sistemas de elevação, condições de acesso às actividades de manutenção e inspecção, competência para o licenciamento e fiscalização de instalações de elevação. Uma apresentação mais completa da legislação relativa à construção e utilização de elevadores seria muito extensa e fora do âmbito deste trabalho. Para aspectos mais específicos, recomenda-se a consulta dos decretos-lei mencionados nesta secção. Deste modo, será descrita a actual legislação em vigor à data e o seu papel regulador.

O Decreto n.º 513/70 de 30 de Outubro aplica-se a elevadores de tracção eléctrica para uso público ou particular e hidráulicos enquanto estes não possuem regulamentação própria à data do referido decreto. Actualmente, nos casos omissos da Lei continua-se a aplicar a elevadores de tracção eléctrica e hidráulicos. Tem por objectivo fixar as condições técnicas a que devem obedecer os elevadores de tracção eléctrica e hidráulicos cujo objectivo fundamental visa a segurança das instalações.

O Decreto Regulamentar n.º 13/80 de 16 de Maio em relação ao decreto anterior, introduz novas disposições aplicáveis aos elevadores nomeadamente no que respeita à vedação da caixa.

O Decreto-Lei n.º 295/98 de 22 de Setembro transpõe para o direito interno (nacional) a directiva da União Europeia n.º 95/16/CE de 29 Junho a qual estabelece um conjunto de disposições aplicáveis a ascensores, que cobrem a sua concepção, fabrico, instalação, ensaios e controlo final dos mesmos e

respectivos componentes de segurança, definindo os requisitos necessários à sua colocação no mercado, avaliação da conformidade e à marcação CE de conformidade.

O Decreto-Lei n.º 320/2002 de 28 de Dezembro estabelece as disposições aplicáveis à manutenção e inspecção de ascensores, monta-cargas, escadas mecânicas e tapetes rolantes, após a sua entrada em serviço e transfere para as câmaras municipais a competência para o licenciamento e fiscalização destas instalações. Também estabelece o correspondente regime contra-ordenacional. Os exames e ensaios a efectuar nas instalações acima referidas devem incidir, respectivamente, sob os aspectos constantes nas seguintes normas portuguesas:

- a) Ascensores anexo D.2 das NP EN 81-1 e 81-2;
- b) Monta-cargas: anexo D.2 da EN 81-3;
- c) Escadas mecânicas e tapetes rolantes: secção 16 da NP EN 115.

A Lei n.º 65/2013 aprova os requisitos de acesso e exercício da actividade das empresas de manutenção instalações de elevação, assim como, das entidades inspectoras de instalações de elevação e respectivos profissionais.

Para além do acima referido, aplicam-se as circulares e cláusulas da DGEG com base na legislação portuguesa às instalações, as quais visam a segurança de pessoas e bens.

3 Arquitecturas Propostas e Tecnologias

Este capítulo descreve o projecto e o desenvolvimento do protótipo de elevador monta-cargas proposto neste trabalho. Na especificação do protótipo, tem-se em consideração todos os aspectos abordados no capítulo anterior, nomeadamente, o tipo de elevador implementado, critérios para os mecanismos, cablagem e *software* de controlo e automação, e bem assim a respectiva legislação.

3.1 Metodologia Proposta

Conforme apresentado no Capítulo 1, o projecto do protótipo de um elevador monta-cargas de tracção eléctrica com automatismo foi baseado no modelo de um elevador residencial. Pretende-se projectar um sistema de controlo de posição da cabina ao longo do seu curso através do controlo de velocidade do motor eléctrico da máquina de tracção e do travão (freio) electromecânico da mesma.

Devido à inexistência da infra-estrutura física de um elevador foi necessário projectar e construir um, facto que constituiu um problema de natureza multidisciplinar a nível mecânico, eléctrico, de automatização, recursos materiais e seu fornecimento, recursos económicos e financeiros, projecto e concepção. Como o âmbito desta dissertação é o projecto de um sistema de automação de um monta-cargas industrial do ponto de vista eléctrico, de automatização, controlo e programação, todos os aspectos principais relacionados com o projecto mecânico serão ilustrados nos respectivos anexos.

O trabalho envolve várias fases, conforme ilustrado na Figura 3.1, nomeadamente o levantamento das especificações correntes e técnicas (funcionais; tecnológicas e operacionais) do elevador proposto, o estudo, projecto, construção e montagem da componente mecânica, o projecto e montagem da instalação eléctrica, nomeadamente a instalação dos seus componentes e respectiva ligação, o desenvolvimento do código e respectiva implementação para o programa que o vai controlar.

Por sua vez, isto deu origem à visão conceptual do sistema elevador monta-cargas em causa ilustrada na Figura 3.2, a qual proporciona uma visão de helicóptero do sistema desenvolvido. Conforme ilustrado na figura mencionada, o projecto desenvolvido reveste-se de uma complexidade significativa, dado que implicou projectar e desenvolver componentes do sistema que envolvem aspectos complexos ao nível mecânico, eléctrico, de controlo e de programação. Esta visão conceptual é composta por vários níveis, nomeadamente o mecânico, eléctrico e de controlo e *software*, cada um deles incluindo os blocos constituintes do sistema elevador. A figura permite perceber a natureza interdisciplinar deste trabalho, resultando num trabalho de desenvolvimento complexo e revestido de desafios tecnológicos e conceptuais.

Conforme relevante e adequado, vai-se proceder à descrição do desenvolvimento dos componentes mais importantes visualizados neste esquema da Figura 3.2. Deste modo, da componente de controlo e *software* fazem parte as arquitecturas conceptuais de controlo de posição/velocidade, os diagramas de

grafcet e a arquitectura de *software*. Os dois primeiros blocos principais referidos levaram à arquitectura de *software*.

O bloco referente às arquitecturas conceptuais de controlo de posição/velocidade é composto por dois blocos sendo eles o bloco do utilizador e o bloco do automatismo. O primeiro bloco refere-se ao controlo em anel aberto em que o utilizador/operador introduz o valor da velocidade nominal

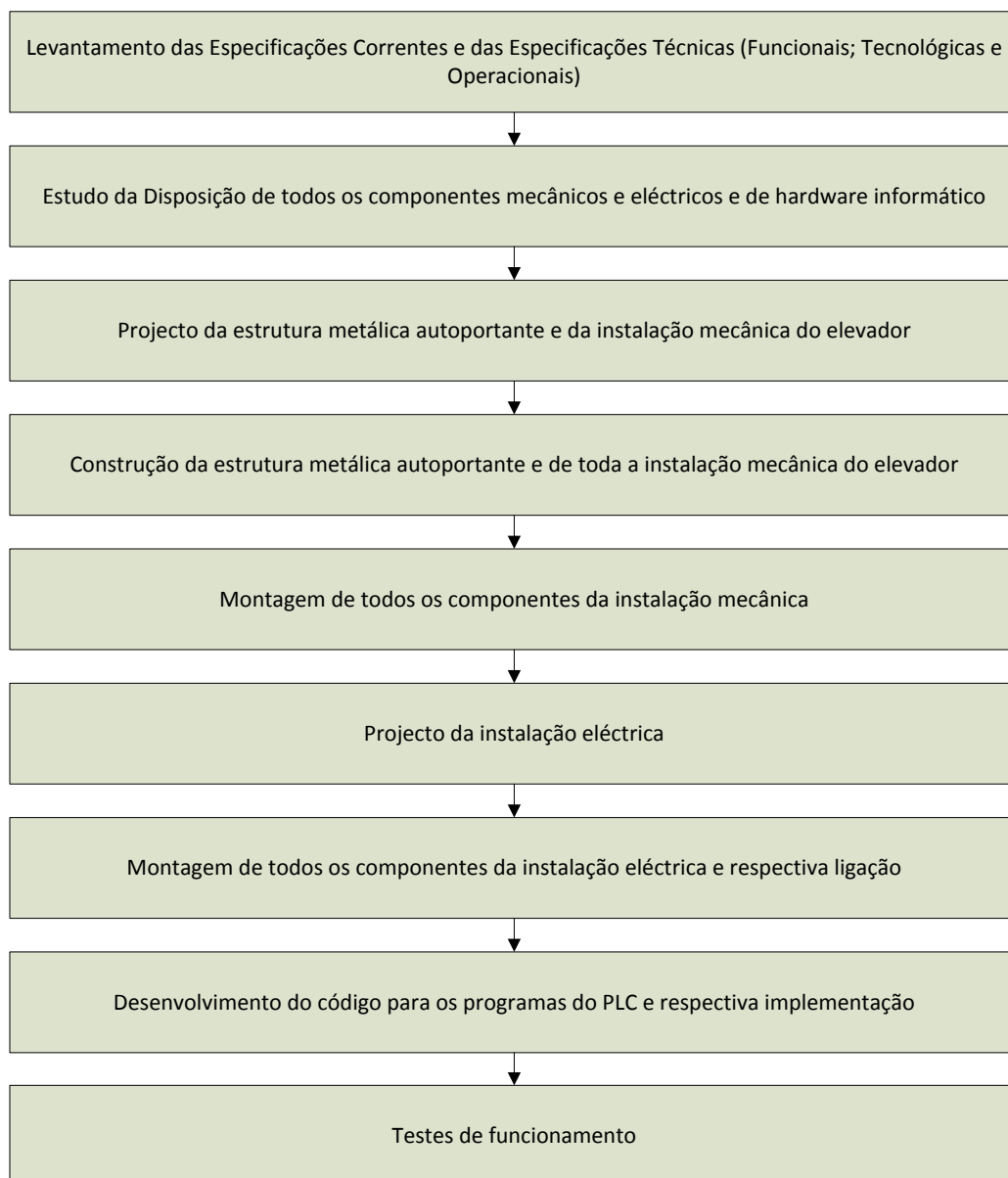


Figura 3.1 – Fases de desenvolvimento do projecto

pretendida para o elevador por intermédio da consola HMI do variador de frequência controlando visualmente a posição da cabina. O segundo bloco refere-se ao controlo em anel aberto em que o PLC controla a posição da cabina e envia um sinal de referência correspondente à velocidade pretendida para o variador de frequência, o qual controla a velocidade do motor eléctrico de tracção.

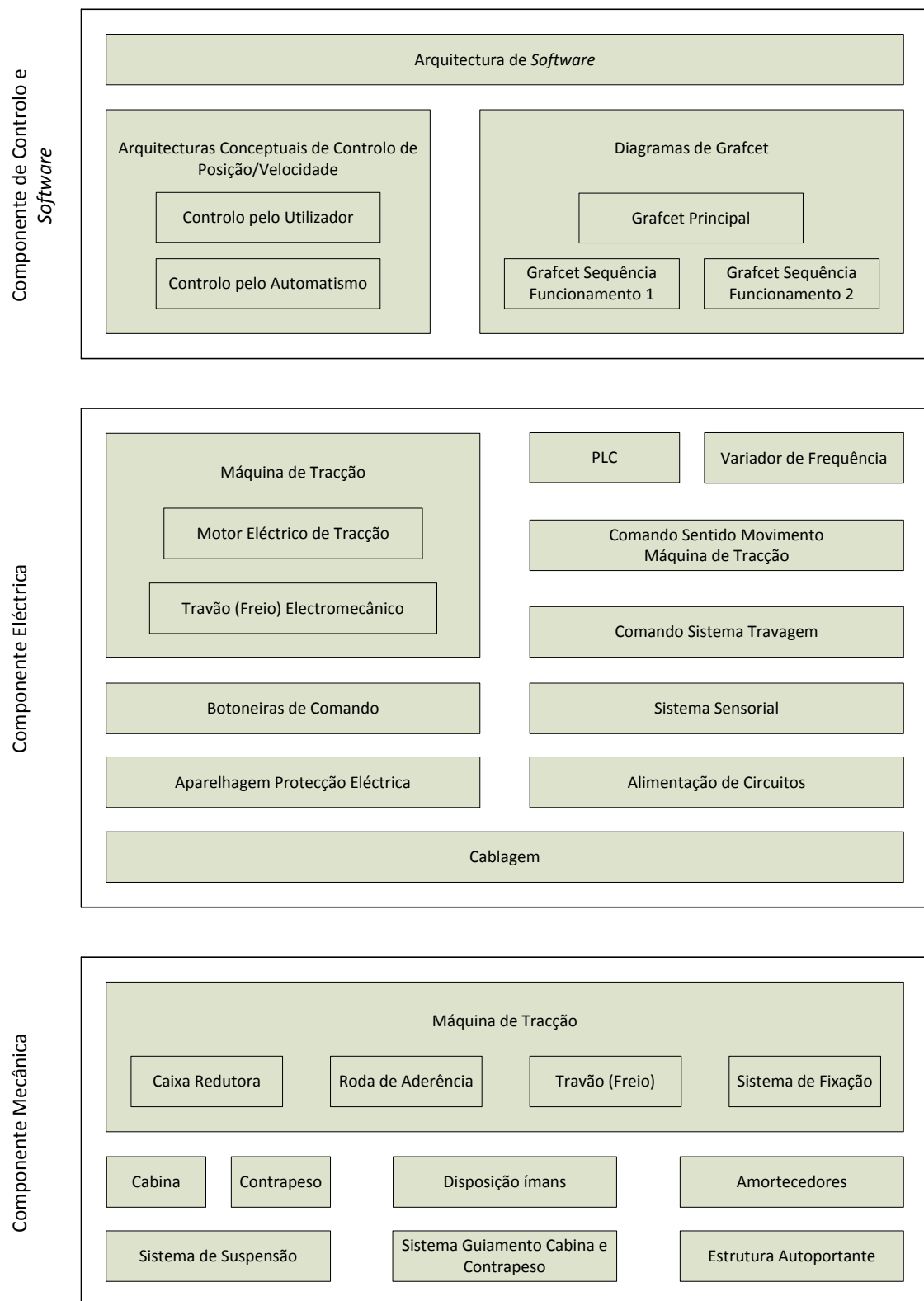


Figura 3.2 – Visão Conceptual do Sistema Monta-cargas Industrial

Da componente eléctrica fazem parte os blocos correspondentes à máquina de tracção, PLC, variador de frequência, comando do sentido de movimento da máquina de tracção, comando do sistema de

travagem, botoneiras de comando, sistema sensorial, aparelhagem de protecção eléctrica, alimentação de circuitos e cablagem.

O bloco da máquina de tracção é constituído pelo bloco do motor eléctrico de tracção que faz mover a cabina/contrapeso, e o bloco do travão (freio) electromecânico cuja bobina quando energizada liberta a máquina de tracção permitindo o seu movimento. Quando deixa de estar energizada através do seu travão (freio) trava o rotor do motor eléctrico de tracção impedindo-o de se movimentar.

O PLC recebe informação das botoneiras de comando e do sistema sensorial do qual fazem parte os sensores de posição e fins de curso, e comanda o variador de frequência através do envio de um sinal em tensão correspondente à velocidade pretendida. Por sua vez o variador de frequência comanda o motor eléctrico de tracção. O PLC também comanda os contactores de sentido de movimento, os quais fazem parte do bloco de comando do sentido de movimento da máquina de tracção, e a energização da bobina do travão electromecânico por intermédio dos relés do freio que fazem parte do bloco de comando do sistema de travagem. Do bloco de comando do sistema de travagem faz parte todo o circuito de alimentação do travão. Das botoneiras de comando fazem parte a botoneira correspondente aos botões de escolha de piso (patamar) para o qual se pretende enviar a cabina e botão de rearme (*reset*) no caso de actuação de uma segurança ou falha de energia e a botoneira de paragem de emergência. O bloco correspondente à aparelhagem de protecção eléctrica é constituído pelo interruptor diferencial, por disjuntores e fusíveis que protegem os respectivos circuitos. Do bloco correspondente à alimentação de circuitos fazem parte a fonte de tensão de alimentação que alimenta os circuitos inerentes aos sensores e botões, alimentação do variador de frequência, alimentação do travão e alimentação do PLC e circuitos das saídas a relé deste. Finalmente temos o bloco correspondente a toda a cablagem.

Da componente mecânica fazem parte os blocos constituídos pela máquina de tracção a nível mecânico, o bloco correspondente à cabina (estrutura física), o bloco correspondente ao contrapeso (estrutura física), bloco do sistema de suspensão da cabina e do contrapeso e respectivas fixações, sistema de guiamento da cabina e contrapeso do qual fazem parte as respectivas guias e roçadeiras, bloco correspondente à disposição do ímans ao longo das guias, bloco correspondente aos amortecedores da cabina e do contrapeso e bloco da estrutura autoportante que alberga e suporta todo o elevador e componentes. O bloco da máquina de tracção é constituído pela caixa redutora de velocidade cujo veio sem-fim está acoplado ao veio do motor eléctrico de tracção, roda de aderência que está acoplada ao veio de saída da caixa redutora em cujo gorne trabalha o cabo de suspensão da cabina e contrapeso, componente mecânica do travão (freio) que actua no veio do motor eléctrico de tracção e sistema de fixação da máquina de tracção à estrutura autoportante.

De acordo com a referência (António Francisco, 2007) o Grafcet, método desenvolvido em França na década de setenta, mostrou ser o que melhor se adapta à resolução de problemas de automação de processos sequenciais. Em virtude de se pretender desenvolver e projectar um automatismo para o

elevador em causa, e este ter um funcionamento sequencial devido à sua cabina funcionar entre níveis de patamar definidos segundo uma sequência de funcionamento específica, tendo em conta que o PLC existente no laboratório de automação é o Modicon TSX Micro 3721 V5.0 da Schneider Electric o qual permite programação na linguagem Diagrama Funcional Sequencial (SFC) derivada directamente do Grafset, optou-se pela escolha deste PLC para efectuar e implementar o programa de comando e controlo do elevador neste tipo de linguagem (SFC).

Uma vez que a linguagem de programação em Lista de Instruções (IL) é obrigatória para programar as transições do Diagrama Funcional Sequencial (SFC), foi igualmente necessária para efectuar e implementar o programa de comando e controlo do elevador, passando a ser mais correcto designar-se de programação em linguagem Diagrama Funcional Sequencial/Lista de Instruções (SFC/IL).

Como num elevador moderno é imprescindível a utilização de memórias para vários fins no programa e sendo mais fácil a gestão das mesmas para leitura, activação e/ou desactivação e alteração do seu valor através da programação em linguagem de Texto Estruturado (ST), utilizou-se igualmente este tipo de linguagem na implementação do programa de comando e controlo do elevador. Deste modo, a linguagem de Texto Estruturado «lê» acede ao valor dos botões, sensores, memórias internas e temporizadores internos do PLC, assim como, «escreve» altera o valor das memórias internas do PLC quando necessário.

O Diagrama Funcional Sequencial/Lista de Instruções (SFC/IL) «lê» acede ao estado das referidas memórias nas transições quando as mesmas são necessárias, assim como, «lê» acede ao valor dos botões, sensores e temporizações internas do PLC de cabina ao piso quando das respectivas sequências de funcionamento do elevador monta-cargas.

Deste modo, utilizou-se programação concorrente nas linguagens Diagrama Funcional Sequencial/Lista de Instruções (SFC/IL) e Texto Estruturado (ST) na programação do controlador lógico programável TSX Micro 3721. Esta forma de programação permite a realização de diferentes tarefas em linguagens diferentes mais adequadas e visa a optimização do código a nível global e um melhor desempenho do automatismo (Luís Palma, 2014a).

3.2 Especificações do Processo e Automatismo

O sistema de elevação de carga implementado segue um conjunto de especificações que foram necessárias definir, nomeadamente, as mecânicas e as do automatismo e processo. Como se pretende o projecto de um sistema de automação de um elevador monta-cargas industrial, deu-se ênfase às especificações técnicas do automatismo e processo conforme detalhadas nas subsecções seguintes, em detrimento das especificações mecânicas.

3.2.1 Especificações Correntes

Conforme mencionado anteriormente, pretende-se desenvolver um protótipo de elevador monta-cargas de tracção eléctrica que serve três níveis de patamar definidos com velocidade variável com especificações técnicas e de segurança similares às existentes na indústria ou serviços. A fase inicial do projecto começa, portanto, com as especificações correntes atrás mencionadas e das especificações técnicas que se subdividem em funcionais, tecnológicas e operacionais que se descrevem a seguir.

3.2.2 Especificações Funcionais

Projectar e desenvolver um automatismo que permite controlar o processo de um elevador monta-cargas industrial para transporte de cargas de acordo com as seguintes condições funcionais:

- Carga máxima 4 Kg;
- Serve 3 níveis de patamar definidos P0, P1 e P2;
- O elevador monta-cargas deverá ser do tipo tracção eléctrica com velocidade variável;
- A velocidade nominal (máxima de viagem) da cabina não deve exceder 0,28 m/s;
- O curso (útil) do elevador deve ser 1080 mm;
- A tecnologia a utilizar é a de autómatos e a electromagnética de relés e contactores;
- O automatismo deve comandar o motor eléctrico e o travão electromecânico da máquina de tracção;
- O sistema de supervisão e controlo do automatismo é efectuado por meio de um controlador lógico programável (PLC) e variador de frequência (VF);
- O controlador lógico programável comanda o variador de frequência e este último por sua vez o motor eléctrico;
- O sistema deve ter duas sequências de funcionamento possíveis S1 e S2;
- O ciclo inicia-se com a cabina no patamar P0, onde está o operador, independentemente da sequência de funcionamento escolhida, e acaba no referido patamar;
- No patamar P0 existem 4 botões B0, B1, B2 e PE;
- O botão B0 permite enviar a cabina para o patamar P0 quando esta se encontra fora deste após uma temporização de 4 segundos; com a cabina ao patamar P0 permite a escolha da sequência pretendida; permite a reinicialização do programa de controlo do PLC após a actuação de uma segurança ou falha de energia eléctrica;
- O botão B1 permite enviar a cabina para o patamar P1;
- O botão B2 permite enviar a cabina para o patamar P2;
- O botão PE funciona como dispositivo de paragem de emergência e permite imobilizar imediatamente a máquina de tracção;

- Existe uma temporização durante a qual é necessário escolher a sequência de funcionamento;
- A sequência S1 é seleccionada premindo apenas o botão B1;
- A sequência S2 é seleccionada premindo o botão B1 e de seguida o botão B2;
- Em caso de engano na escolha da sequência é necessário premir o botão B0 e voltar a seleccionar a sequência pretendida;
- Após a selecção da sequência a cabina arranca finda uma temporização de 4 segundos;
- Após a chegada da cabina ao patamar P1 ou P2 existe uma temporização de 4 segundos durante a qual a cabina permanece no patamar e finda a qual a cabina arranca para o próximo patamar de destino;
- Existem dois dispositivos de fim de curso de segurança (fim de curso Inferior FCI e fim de curso superior FCS) que promovem a paragem imediata da máquina de tracção e o bloqueio do programa de controlo do PLC quando a cabina ultrapassa o curso (normal de funcionamento);
- A detecção de paragens e mudança de velocidade é efectuada através de sensores magnéticos;
- Existem 4 sensores magnéticos (AF, AT, BF e BT) montados no topo da cabina que indicam a posição desta ao longo do seu curso;
- O circuito de comando e os circuitos de potência do motor eléctrico e do travão electromecânico são protegidos contra curto-circuitos e fugas de corrente à massa (terra) através de dispositivos para o efeito situados a montante.
- O motor eléctrico da máquina de tracção é protegido contra sobrecarga.

3.2.3 Especificações Tecnológicas

Tendo em conta as especificações funcionais acima descritas de seguida enumeram-se as condições das especificações tecnológicas a que o automatismo deve obedecer para controlar o processo de um elevador monta-cargas industrial para transporte de cargas:

- O motor eléctrico da máquina de tracção é assíncrono trifásico;
- A bobina do travão electromecânico da máquina de tracção é de corrente contínua;
- O circuito de comando é de corrente contínua;
- O controlador lógico programável comanda os actuadores do travão e os actuadores do sentido de movimento do motor eléctrico;
- O controlador lógico programável envia sinais analógicos em tensão contínua para o variador de frequência que permitem alterar a velocidade do motor eléctrico;

- O perfil de velocidade da cabina no momento de arranque e no momento da paragem em funcionamento normal pode ser efectuado por degrau, rampa ou curvas de aceleração/desaceleração através do variador de frequência.
- A lógica de comando é efectuada no PLC através da utilização de programação concorrente nas linguagens Diagrama Funcional Sequencial/Lista de Instruções (SFC/IL) e Texto Estruturado (ST);
- Os botões B0, B1 e B2 são botões de pressão (contactos eléctricos instantâneos) do tipo NA;
- O botão PE é um botão de pressão (contacto eléctrico instantâneo) do tipo NF;
- O fim de curso inferior (FCI) e fim de curso superior (FCS) são interruptores eléctricos do tipo NF actuados mecanicamente pela rampa móvel do contrapeso;
- Os 4 sensores (AF, AT, BF e BT) montados no topo da cabina que indicam a posição desta são de actuação magnética (tipo *reed-switch*);
- Os sensores AF e AT são contactos do tipo NA e os sensores BF e BT são biestáveis;
- O motor eléctrico encontra-se protegido contra sobrecarga por meio de termistor.

3.2.4 Especificações Operacionais

Nesta subsecção enumeram-se as especificações operacionais do automatismo a ter em consideração:

- O controlador lógico programável (PLC) deve ser programado através de computador podendo ser visto num ecrã em tempo real a actualização das variáveis de entrada externas, tais como, os botões e sensores, a actualização das variáveis internas, tais como, temporizadores internos e memórias internas do PLC e as actualizações das saídas a relé KM0, KM1, KF2 e KF3.
- Deve ser possível ver num ecrã em tempo real a evolução das etapas de uma(s) para a(s) outra(s) do Diagrama Funcional Sequencial/Lista de Instruções (SFC/IL) que correspondem à evolução do sistema sequencial automatizado;
- O variador de frequência (VF) deve possuir uma consola de interface homem-máquina (HMI) que permite a programação do mesmo e a leitura dos valores em tempo real;
- O fim de curso superior (FCS) e o fim de curso inferior (FCI) actuam antes da cabina ou o contrapeso atingirem as respectivas molas;
- Ambos os fins de curso são actuados pelo contrapeso;
- Respeitando as arquitecturas tidas em consideração na fase de projecto e sem alterar as mesmas deve ser possível substituir qualquer componente do automatismo inclusive do processo, por um igual ou de outro fabricante, tendo em consideração a disposição física dos mesmos quando da entrada em serviço de toda a instalação.

3.3 Arquitecturas do Elevador

Definidas as especificações técnicas mecânicas e de automatismo procedeu-se à elaboração das várias arquitecturas de projecto do sistema de automação do elevador monta-cargas industrial conforme detalhadas nas subsecções seguintes, sem esquecer o controlador lógico programável e o variador de frequência utilizados.

3.3.1 Componente mecânica do elevador

Conforme referido anteriormente, a construção mecânica do elevador foi também uma etapa importante deste trabalho, assim como a componente de automação e controlo. No entanto, para que o trabalho pudesse ser feito, foi necessário ter acesso à estrutura mecânica, sendo solução alternativa a construção desta de raíz.

Conforme mencionado durante esta fase de especificação, a estrutura mecânica deverá possuir uma estrutura autoportante apoiada em 4 apoios (sapatas), que suporta a máquina de tracção, suporta as guias da cabina e contrapeso, mola da cabina e contrapeso, suporta o quadro eléctrico e todos os componentes eléctricos, tendo sido projectada para possuir 3 patamares (pisos) distintos podendo suportar um computador, monitor e teclado caso necessário. Esta estrutura é mostrada na Figura 3.3 e Figura 3.20. Para informação mais detalhada sobre a construção da estrutura mecânica referida, consultar os Apêncides D e E.

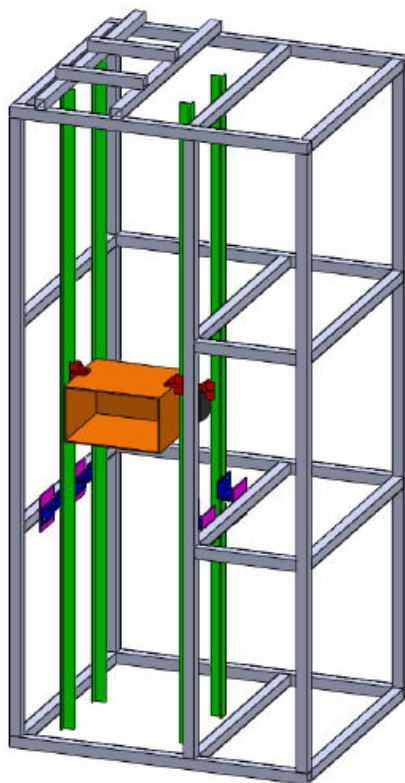


Figura 3.3 – Estrutura autoportante com guias, cabina e contrapeso.

3.3.2 Controlador Lógico Programável TSX Micro 3721

O controlador lógico programável a utilizar, é o Modicon TSX Micro 3721 v5.0 da Telemecanique, do tipo modular, pertencente ao grupo Schneider Electric ilustrado na Figura 3.4.

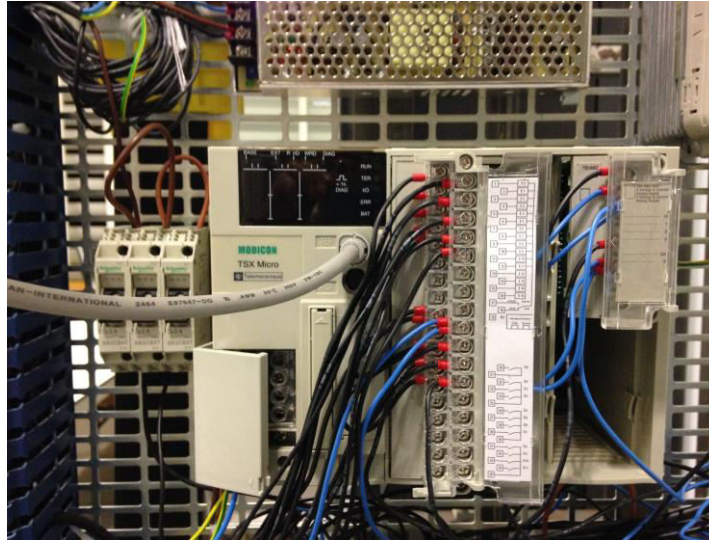


Figura 3.4 – Controlador Lógico Programável TSX Micro 3721.

O *software* de programação que utiliza, é o PL7 Micro, o qual tem 4 linguagens de programação (Schneider Electric, 1997), nomeadamente:

- Diagrama de Contactos (Ladder Diagram – LD);
- Lista de Instruções (Instruction List – IL);
- Linguagem em Diagrama Funcional em Sequência (Sequential Function Chart – SFC baseada em Grafset);
- Linguagem Texto Estruturado (Structured Text – ST).

Este *software* de programação, permite programação concorrente utilizando mais do que uma linguagem de programação com vista a otimizar o código a nível global e obter um melhor desempenho do automatismo (Luís Palma, 2014a).

O *software* de programação PL7 Micro tem o seguinte tipo de instruções (Schneider Electric, 2003):

- Instruções sobre tabelas do tipo palavra (*word*, correspondendo a 16 bits) e palavras duplas (*double word*);
- Instruções lógicas em palavras e palavras duplas;
- Instruções aritméticas em palavras e palavras duplas;
- Instruções em palavras de ponto flutuante;
- Instruções em tabelas de bit;

- Instruções de string de caracteres;
- Instruções de conversão binária;
- Instruções de gestão de tempo;
- Instruções logarítmicas e exponenciais;
- Instruções trigonométricas;
- Instruções sobre programa.

O *software* de programação PL7 Micro para além de permitir a utilização de instruções de lógica *Booliana* (escrita de equações *Boolianas*) e instruções numéricas, tem um *software* de opção denominado de PL7 FUZ que permite o processamento de lógica *fuzzy*⁸ com vista a otimizar o controlo de processos (Schneider Electric, 2003).

O *software* de programação PL7 Micro, também permite a criação de tabelas de animação para monitorização das variáveis a utilizar (Schneider Electric, 2003).

As características técnicas do processador do controlador lógico programável TSX Micro 3721 permitem a utilização de módulo de entradas/saídas discretas; módulo de extensão de entradas/saídas discretas remotas; módulo de entradas/saídas analógicas e controlo de processo; módulo de contagem/posicionamento; controlo de processo; módulo de segurança; módulo de barramento (bus) AS-Interface ou de extensão de entradas/saídas (Inputs/Outputs); módulo de comunicação com cartão PCMCIA sobre processador com Serial link, CANopen bus, Modbus bus, Fipio Agent bus, Uni-Telway bus, Modbus Plus network, Fipway network; módulo de comunicação com Ethernet TCP/IP ou Modem externo; e módulos de ventilação (Schneider Electric, 2003). O PLC TSX Micro 3721 permite controlar processos com 3 tipos de funções integradas sendo elas do tipo PID, PWM (pulse width modulation) e SERVO (envio de sinais discretos para uma válvula).

É importante referir que o tempo de ciclo «*scan cycle*» do PLC TSX Micro 3721 é de 5 ms, isto é, executa 200 ciclos em 1 segundo (Schneider Electric, 2003).

A Figura 3.5 mostra os pontos característicos do PLC TSX Micro 3721 com a respectiva legenda (Luís Palma, 2014f).

⁸ *Fuzzy* – Lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exactos (Gomide, Gudwin, & Tanscheit, 1995)

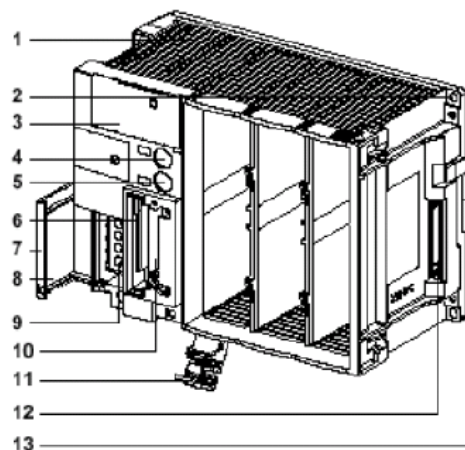


Figura 3.5 – Controlador lógico programável TSX Micro 3721 e pontos característicos

- | | |
|---|---|
| 1 - Autômato (PLC) | 8 – Etiqueta |
| 2 - Ponto de montagem | 9 - Terminais de alimentação |
| 3 - Visor (“display”) | 10 - Ranhura para placa de comunicação Modbus (tipo PCMCIA) |
| 4 - Terminal TER | 11- Tampa da bateria |
| 5 - Terminal AUX | 12 - Conector para módulo de extensão |
| 6 - Ranhura para extensão de memória | 13 - Pontos de montagem DIN |
| 7 - Tampa dos terminais da fonte de alimentação | |

O controlador lógico programável TSX Micro 3721 a utilizar, ilustrado na Figura 3.4, existente no laboratório de automação, é composto por dois módulos, sendo eles, o módulo TSX DMZ 28 DR que corresponde ao módulo de entradas e saídas discretas, e o módulo TSX AMZ 600 que corresponde ao módulo de entradas e saídas analógicas (Luís Palma, 2014f; Schneider Electric, 2003).

O módulo TSX DMZ 28 DR de entradas e saídas discretas é composto por 16 entradas discretas e 12 saídas a relé, para sinais discretos com valores [0; 24] V (Luís Palma, 2014f).

O módulo TSX AMZ 600 de entradas e saídas analógicas é composto por 4 canais de entrada e 2 canais de saída, para sinais analógicos na gama de ± 10 V, 0 – 10 V, 0 – 20 mA e 4 – 20 mA (Schneider Electric, 2003).

Para o projecto de automatização do monta-cargas em causa, o PLC foi alimentado a 230 V CA da rede de energia eléctrica, utilizaram-se os módulos de entradas e saídas discretas, o módulo de entradas e saídas analógicas e foi conectado a um computador, através do terminal TER de transmissão de dados, por intermédio de um cabo especial para o efeito para programação e monitorização das variáveis e estados do processo.

No controlador lógico programável TSX Micro 3721 (base com extensão), conforme ilustra a Figura 3.6, cada módulo de entradas/saídas (E/S: Input/Output (I/O)) pode ocupar as posições 1 a 10.

A posição “0” está reservada para a CPU e para módulos integrados conforme ilustra a Figura 3.7 (Luís Palma, 2014f).

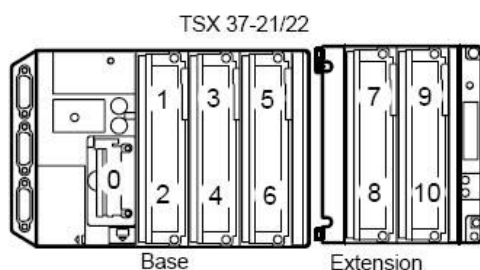


Figura 3.6 – PLC base e extensão com módulos 1 a 6 (Luís Palma, 2014f)

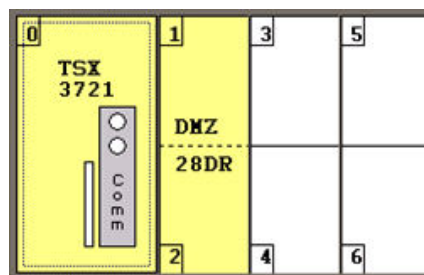


Figura 3.7 – Localização do módulo DMZ 28DR nas posições 1 e 2 (Luís Palma, 2014f)

O endereçamento dos canais depende da localização geográfica do módulo no PLC. A Figura 3.7 mostra a localização do módulo DMZ 28DR nas posições 1 e 2, em que as entradas estão situadas na posição 1 e as saídas estão situadas na posição 2 (Luís Palma, 2014f). A estrutura de endereçamento de entradas/saídas está mostrada na Figura 3.8.

%	I or Q	X, W or D	x	.	i
Symbol	Type of object	Format	Position		Channel No.
	I = input Q = output	X = Boolean W = word D = double word	x = Position number in the rack		i = 0 to 127 or MOD

Figura 3.8 – Endereçamento de entradas/saídas (Luís Palma, 2014f)

Para a configuração ilustrada na Figura 3.6, as entradas estão no módulo 1 e são referenciadas por:

%I1.x, x = {0, 1, 2, ..., 15}; por exemplo: %I1.2; significa a entrada 2 do módulo 1 (posição 1 no rack).

As saídas estão no módulo 2 e são referenciadas por:

%Q2.x, x = {0, 1, 2, ..., 11}; por exemplo: %Q2.3; significa a saída 3 do módulo 2 (posição 2 no rack).

Esta configuração serve para atribuição e caracterização das variáveis utilizadas nas linguagens de programação do PLC TSX Micro 3721.

O controlador lógico programável está provido de um visor (display) ilustrado na Figura 3.9 que indica o estado do PLC e dos sinais de entrada/saída (E/S: I/O). Dele fazem parte:

1. Três blocos de 32 LEDs que representam as fichas (slots) nas quais os módulos estão instalados no PLC base ou na sua extensão.

2. Uma linha de informação composta por LEDs que mostra os modos de operação do visor.
3. Botão de comando que fornece o acesso aos vários modos de operação do visor.
4. Cinco LEDs:
 - RUN – PLC run/stop ou a executar programa;
 - TER – transmissão de dados;
 - I/O – falha em entradas/saídas (I/O) ou módulo desactivado;
 - ERR – falha na aplicação ou no processador (CPU);
 - BAT – falha em bateria ou sem bateria.

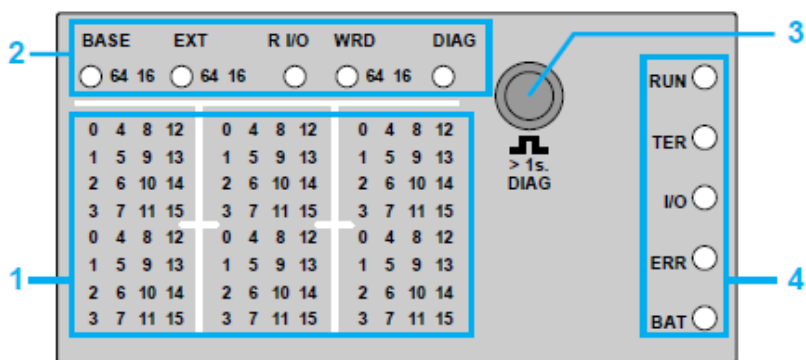


Figura 3.9 – Visor do TSX Micro 3721 (Schneider Electric, 2003)

3.3.3 Variador de Frequência OMRON V1000

O variador de frequência a utilizar é o OMRON V1000 cujo circuito principal e circuito de controlo estão representados na Figura 3.10.

Do **circuito principal**, fazem parte a montante do variador, a alimentação deste pela rede de energia eléctrica (R/L1, S/L2, T/L3) que corresponde ao circuito de potência trifásico, a protecção contra curto-circuitos por intermédio de fusíveis ou disjuntor trifásico e, no caso do elevador monta-cargas em causa, protecção contra fugas de corrente à massa por intermédio de interruptor diferencial trifásico (apesar de não estar referenciado no circuito principal do variador de frequência). A jusante do variador, fazem parte o circuito trifásico de alimentação do motor assíncrono trifásico por intermédio do variador de frequência (U/T1, V/T2, W/T3), a resistência de frenagem (apesar de não ser utilizada), conexão para uma fonte de alimentação de corrente contínua CC, reactância de corrente contínua CC e ligação à terra.

Do **circuito de controlo** fazem parte as entradas digitais multifunções, as entradas analógicas/de impulsos multifunções, entradas de desactivação em segurança, também denominadas de comando de paragem rápida (utilizado no caso de actuação de uma segurança cujo sinal é lido directamente pelo variador de frequência), a saída digital de relé multifunções, a saída digital do foto-acoplador

multifunções e as saídas analógicas de monitor (monitorização do processo). Também faz parte do circuito de controlo os terminais de comunicação série por intermédio das entradas e saídas para comunicação MEMOBUS/Modbus através dos protocolos RS-485 ou RS-422.

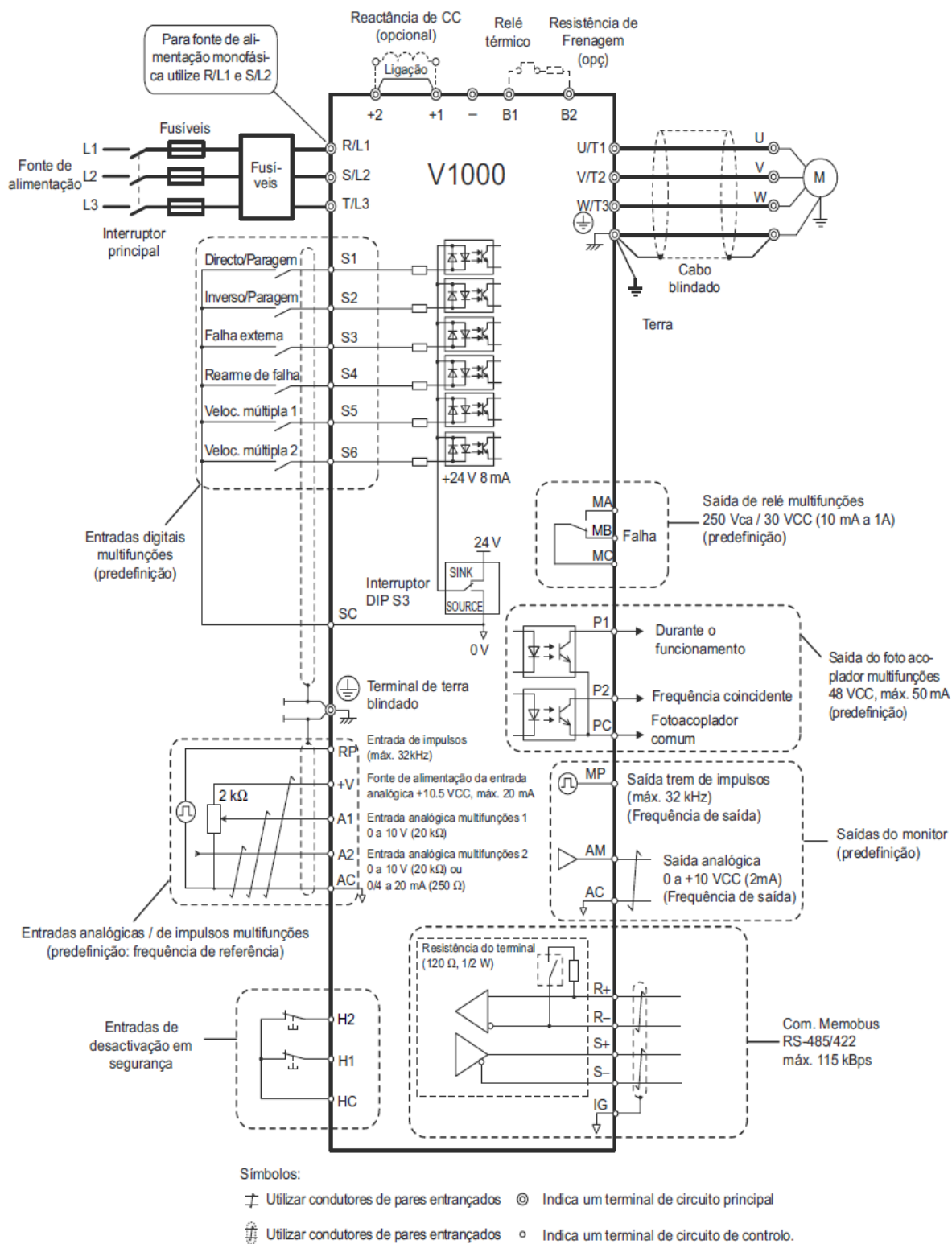


Figura 3.10 – Circuito principal e circuito de controlo do OMRON V1000 (OMRON, 2007)

Módulo de entradas digitais multifunções

Do módulo de entradas digitais multifunções fazem parte os terminais de S1 a S6 e o terminal SC. Cada entrada destas (S1 a S6) é constituída por um interruptor em série com um foto-acoplador de +24

V CC, 8mA. Quando o interruptor fecha, aplica-se um sinal digital em tensão de +24 V CC aos terminais do foto-acoplador, este fica polarizado e conduz. No caso do terminal S1, quando o interruptor fecha é enviada a ordem de sentido directo de movimento do motor eléctrico e no caso do terminal S2, quando o interruptor fecha é enviada a ordem de sentido inverso de movimento do motor eléctrico. Quando o interruptor de S1 ou S2 está aberto pára o motor. O terminal SC é o comum para sinal de controlo de 0 V.

Em elevadores, costuma-se utilizar os sinais digitais de entrada para comandar o sentido de movimento de subida e o sentido de movimento de descida da cabina, através do sentido de movimento do motor eléctrico de tracção.

Módulo de entradas analógicas / de impulsos multifunções

Deste módulo de entradas analógicas, fazem parte o terminal RP que é a entrada de trem de impulsos de comando de velocidade principal (entrada de frequência de referência de 0,5 a 32 kHz), o terminal +V da fonte de alimentação da entrada analógica de + 10,5 V CC e máximo de corrente 20 mA, o terminal A1 que é a entrada analógica multifunções 1 com tensão de 0 a 10 V CC (20 kΩ) de entrada de frequência de referência, o terminal A2 que é a entrada analógica multifunções 2 com tensão de 0 a 10 V CC (20 kΩ) ou 0/4 a 20 mA (250 Ω) de entrada de frequência de referência, e o terminal AC que é o comum da frequência de referência de 0 V CC.

É através dos terminais A1 e AC que o variador de frequência recebe os sinais de comando analógicos em tensão, os quais correspondem a uma gama de sinais em frequência, de um controlador lógico programável para o variador de frequência comandar um motor eléctrico.

Entradas digitais de desactivação em segurança ou comando de paragem rápida

Deste módulo, fazem parte o terminal HC que é o comando de paragem rápida da fonte de alimentação para as entradas de desactivação cujo sinal é de + 24 V CC e corrente máxima permitida de 10 mA, o terminal H1 que é a entrada digital especial 1 e o terminal H2 que é a entrada digital especial 2. Quando um ou os dois interruptores normalmente fechados estão abertos, significa que a saída do variador de frequência é desactivada por motivos de segurança. Quando ambos os interruptores estão fechados, significa operação normal de funcionamento. Para utilizar este módulo é necessário desconectar os fios “*jumper*” entre HC, H1 e H2 e o comprimento dos fios condutores conectados não deve exceder os 30 m.

Saída digital de relé multifunções

Este módulo denominado de saída digital do foto-acoplador multifunções é constituído por dois foto-acopladores dos quais fazem parte o terminal P1 que é a saída do foto-acoplador 1 utilizado durante o funcionamento do motor, o terminal P2 que é a saída do foto-acoplador 2 utilizado para frequência coincidente, e o terminal PC que é o comum dos foto-acopladores. A tensão máxima de saída é de 48 V CC e a corrente de 2 a 50 mA.

Saídas analógicas do monitor

Deste módulo fazem parte a saída de trem de impulsos (frequência de saída máxima 32 kHz), o terminal AM que é o responsável pela saída analógica em tensão de monitorização de 0 a +10 V CC (2 mA) e o terminal AC que é o comum de referência. Esta saída analógica em tensão corresponde a uma gama de sinais em frequência aplicada ao motor eléctrico, que se pretende ler através do variador de frequência.

Terminais de comunicação série

Este módulo tem como função a comunicação através dos protocolos de comunicação MEMOBUS/Modbus através da utilização de um cabo RS-485 ou RS-422 ligado ao variador de frequência. A velocidade máxima de comunicação é de 115.2 kbps.

Dos terminais de comunicação série pertencentes ao circuito de controlo fazem parte os terminais R+ que é a entrada de comunicações (+), o terminal R- que é a entrada de comunicações (-), o terminal S+ que é a saída de comunicações (+), o terminal S- que é a saída de comunicações (-) e o terminal IG que é a blindagem à massa de 0 V.

Convém referir que existem três interruptores manuais do tipo “DIP Switch” no variador de frequência denominados de DIP Switch S1, DIP Switch S2 e DIP Switch S3.

DIP Switch S1

Este interruptor comuta (escolhe-se) a entrada analógica A2 entre entrada em tensão ou em corrente.

À frequência de referência, pode corresponder um sinal analógico de entrada em tensão ou corrente. No caso de corresponder um sinal analógico de entrada em tensão, podem-se usar os terminais A1 e A2, no caso de ser um sinal analógico de entrada em corrente deve-se usar o terminal A2.

Quando se utiliza o terminal A2 como entrada em tensão, o DIP Switch 1 deve ser comutado para a esquerda posição “V” e programado o parâmetro H3-09 para “0” (0 a +10 V CC, entrada unipolar com limite inferior) ou para “1” (0 a +10 V CC, entrada bipolar sem limite inferior).

Quando se utiliza o terminal A2 como entrada analógica em corrente, o DIP Switch 1 deve ser comutado para a direita posição “I” (de defeito) e o parâmetro H3-09 deve ser igual “2” (4-20 mA) ou igual a “3” (0-20 mA). O parâmetro H3-10 H3-10 deve ser igual a “0” (frequência de referência).

DIP Switch S2

Este interruptor activa ou desactiva a resistência interna do terminal RS422/485.

A posição “OFF”, mais à esquerda, é a posição de defeito da resistência terminal para as comunicações MEMOBUS/Modbus. Quando o variador é o último numa série de variadores escravos, este DIP Switch S2 deve ser comutado para “ON”, posição mais à direita, para se efectuar a conexão à resistência terminal.

DIP Switch S3

É utilizado para seleccionar entre o modo “sourcing” (PNP) ou “sinking” (NPN por defeito) para as entradas digitais. O modo “sourcing” PNP requer uma fonte de alimentação externa de +24V cc.

Sinal de entrada a transistor utilizando como referência o comum de 0 V/modo “Sink”

Quando se controla as entradas digitais por intermédio de transístores NPN (comum de 0 V/modos sinking), o interruptor DIP Switch S3 deve estar para cima na posição Sink e utiliza-se a fonte de alimentação interna do variador de frequência de +24 V cc. Como referido, esta é a situação de defeito do variador.

Sinal de entrada a transistor utilizando +24 V cc/modo “Source”

Quando se controla as entradas digitais utilizando transistores PNP (comum de +24 Vcc/modo sourcing), o interruptor DIP Switch S3 deve estar para baixo na posição Source e deve ser utilizada uma fonte de alimentação externa de +24 V cc.

3.3.4 Arquitectura de Alto Nivel

A arquitectura de alto nível do sistema a implementar ilustra-se na Figura 3.11, sendo composta pelo conjunto de dois blocos, o automatismo e o processo, os quais são detalhados abaixo. Neste tipo de arquitectura mostra-se de um modo sucinto a constituição e disposição de todo o sistema a implementar, a respectiva interacção entre os vários blocos e o tipo de sinal de informação.

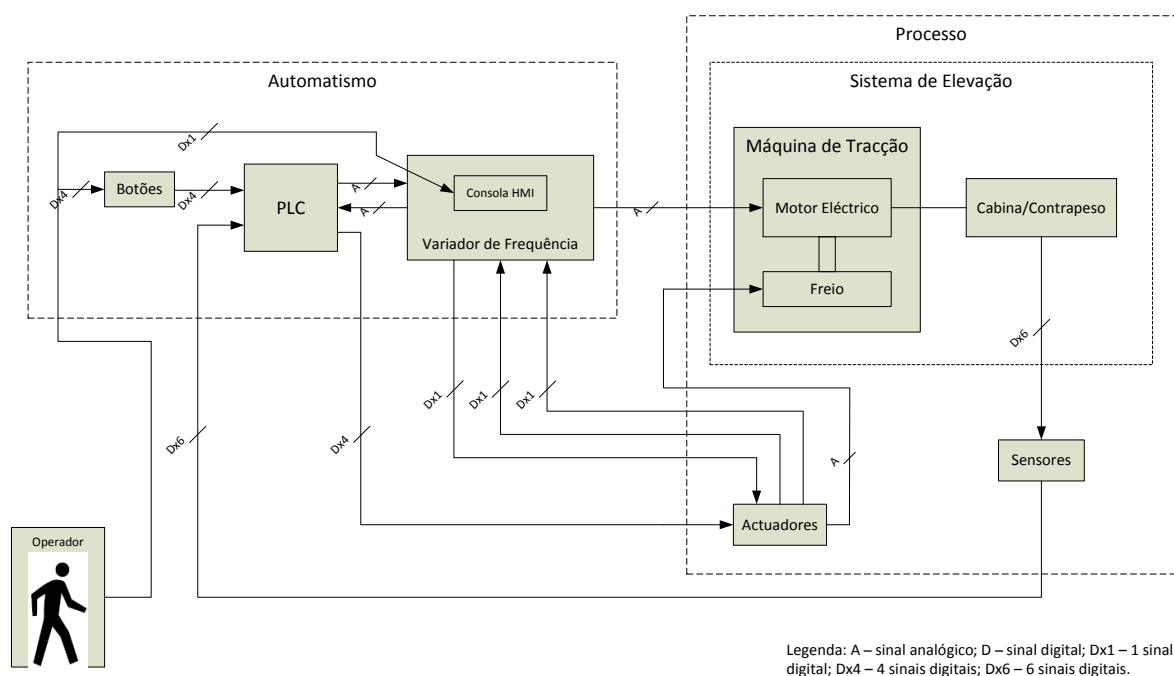


Figura 3.11 – Arquitetura de Alto Nível

Automatismo

Tendo em conta que o automatismo é o «cérebro» que processa toda a informação de comando, controlo e decisão, considerou-se este constituído pelos botões (de comando e paragem de emergência), controlador lógico programável (PLC) e variador de frequência. Toda a lógica de comando é efectuada no PLC em virtude deste ser constituído por *hardware* e *software* que permite comandar o variador de frequência e os actuadores. O controlador lógico programável lê informação proveniente dos sensores e dos botões e envia sinais de controlo para o variador de frequência. Este último, por sua vez, comanda o motor eléctrico. Do bloco dos botões fazem parte quatro botões e do bloco dos sensores seis sensores. O PLC recebe quatro sinais digitais provenientes dos botões e outros seis (digitais) provenientes dos sensores. Os botões são actuados pelo operador. Os actuadores são comandados pelo PLC através do envio de quatro sinais digitais cada um correspondente a um actuador. O variador de frequência e o controlador lógico programável por sua vez trocam informação entre si através do envio de sinais analógicos do PLC para o variador de frequência e deste para o autómato. O variador de frequência, em virtude de ter o seu próprio controlador e receber sinais analógicos de comando do PLC, comanda (acciona) o motor eléctrico através do envio de um sinal de comando analógico. Convém salientar que é possível o operador comandar directamente o variador de frequência através da sua consola HMI, e através deste, o motor eléctrico desde que o travão esteja a libertar o veio do motor eléctrico.

Processo

Pretende-se o controlo de posição da cabina ao longo do seu curso através do controlo de velocidade do motor eléctrico da máquina de tracção. Deste modo, considerou-se o processo constituído pelo sistema de elevação, actuadores e sensores. Do sistema de elevação (electromecânico) fazem parte a máquina de tracção e a cabina/contrapeso. Do bloco da máquina de tracção fazem parte o motor eléctrico e o travão adiante designado de freio electromecânico que se pretendem comandar. Como já referido anteriormente, do bloco correspondente aos sensores fazem parte os quatro sensores de posição da cabina montados nesta e os dois sensores de segurança actuados mecânicamente pelo contrapeso, no total seis sensores, que informam o PLC através do envio de seis sinais digitais de informação de posição da cabina/contrapeso. Do bloco dos actuadores fazem parte os contactores de movimento de subida e de descida do motor eléctrico e os dois relés de actuação do freio electromecânico. Assim que o freio electromecânico é actuado através de um sinal de comando analógico proveniente dos respectivos actuadores e liberta o rotor do motor eléctrico, este acciona o sistema cabina/contrapeso através da roda de aderência, permitindo que esta se movimente no sentido de subida ou de descida. Conforme já mencionado, o controlador lógico programável comanda os actuadores de movimento de subida ou de descida e estes por sua vez recebem e enviam um sinal digital de controlo do variador de frequência para o variador consoante se pretende o movimento de subida ou de descida.

3.3.5 Arquitectura de Baixo Nível

A arquitectura de baixo nível do sistema a implementar ilustra-se na Figura 3.12. Neste tipo de arquitectura detalha-se com pormenor cada bloco descrito na arquitectura de alto nível, a função de cada componente, o tipo de sinal eléctrico e respectiva gama de funcionamento. Nesta arquitectura estão representados as fontes de tensão de alimentação de circuitos de corrente contínua e de corrente alternada, os blocos do PLC correspondentes ao controlador lógico programável, variador de frequência, botões, actuadores e pormenor 1 correspondente aos sensores de posição da cabina e de uma forma simplista o sistema de elevação. Os elementos constituintes desta arquitectura estão descritos abaixo.

Operador

Nesta arquitectura, o operador actua o botão de paragem de emergência PE, os botões de comando B0, B1 e B2, e a consola de interface homem máquina (HMI) do variador de frequência.

Fontes de Tensão de Alimentação

O controlador lógico programável (PLC) é alimentado a 230 V CA e o variador de frequência a 400 V CA por circuitos independentes. A bobina do freio electromecânico é alimentada a +96 V CC, após rectificadores, por um circuito independente. Da fonte de tensão de alimentação +24 V CC derivam dois circuitos independentes um do outro. Um dos circuitos alimenta os circuitos dos botões (PE, B0, B1 e B2), fins de curso de segurança (FCI e FCS) e todos os circuitos inerentes à cabina, inclusive os sensores de posição (AF, AT, BF e BT). O outro circuito alimenta a +24 V CC a parte do módulo de entradas e saídas discretas, correspondente às saídas digitais a relé do PLC. O comum 0 V do módulo de entradas e saídas discretas (digitais) do PLC está ligado à mesma fonte.

Controlador Lógico Programável PLC (autómato programável)

O bloco do controlador lógico programável (PLC) é composto por dois blocos, um correspondente ao módulo de entradas e saídas discretas e outro correspondente ao módulo de entradas/saídas analógicas.

O módulo de entradas discretas recebe os sinais digitais (D) correspondentes à informação proveniente dos botões, sensores de segurança e sensores de posição de cabina os quais são alimentados a +24 V CC por uma fonte exterior ao autómato. A tensão de referência do módulo de entradas discretas (digitais) é +24V CC e o comum 0 V. O módulo de saídas discretas a relé é composto por relés internos do autómato programável cujos contactos do tipo NA estão conectados a uma fonte exterior ao autómato de +24 V CC e comandam as bobinas dos actuadores através do envio do respectivo sinal digital (D) de +24 V CC.

O módulo de entradas/saídas analógicas do controlador lógico programável envia o sinal de referência em tensão, v_r , para o variador de frequência, da velocidade pretendida para o motor eléctrico e recebe do variador o sinal da tensão instantânea, v_i , estimada pelo variador respeitante ao motor. É de referir que o sinal da tensão de referência, v_r , é um sinal analógico de 0 a +10 V CC que corresponde à frequência de referência de controlo do variador para o motor de 0 a 50 Hz. Apesar das arquitecturas se aplicarem a componentes de fabricantes diferentes, devido ao PLC a utilizar ser o TSX Micro 3721, o terminal +QV4 pertence ao canal 4 e é a saída em tensão analógica. O terminal -Q4 é o comum 0 V dos terminais pertencentes ao canal 4 terminal de saída em tensão +QV4 e terminal de saída em corrente +QC4 (não sendo utilizado este último). Deste modo, o sinal de referência em tensão, v_r , é enviado do terminal +QV4 para o terminal A1 (entrada analógica multifunções 1 de 0 a 10 V) do variador de frequência. O terminal +I0 pertence ao canal 0 de entrada em tensão analógica do PLC e recebe do variador o sinal da tensão instantânea, v_i , estimada por este, respeitante ao motor eléctrico, do terminal AM (saída de monitor analógica do variador). O terminal -I0,1 é o comum dos terminais +I0 e +I1 (não sendo utilizado este último). Os terminais de comum 0 V estão conectados entre si (-Q4 e -I0,1), o terminal de ligação à terra e o terminal AC (monitor analógico comum) de sinais de saída analógicos do variador de frequência.

Variador de Frequência

Deste bloco fazem parte outros três que são a consola de interface homem máquina (HMI), o módulo de controlo de entradas e saídas analógicas de 0 a 10 V CC do variador de frequência e o módulo de controlo de entradas digitais de +24 V CC.

A consola HMI permite a programação do variador e a leitura dos valores em tempo real.

Do módulo de entradas e saídas analógicas fazem parte os terminais A1, AC e AM. O terminal A1 é a entrada analógica multifunções 1 que como referido anteriormente recebe o sinal de referência em tensão analógica, v_r , enviado pelo PLC, sinal este de 0 a +10 V CC que corresponde a um sinal em frequência de 0 a 50 Hz do variador. O terminal AC é o comum 0 V e o terminal AM envia o sinal da tensão instantânea, v_i , estimada pelo variador de frequência, respeitante ao motor eléctrico, para o PLC, sinal este de 0 a +10 V CC.

Do módulo de controlo de entradas digitais de +24 V CC fazem parte os terminais S1, S2 e SC. O terminal SC é o comum para sinal de controlo, csc , de 0 V e aplica o sinal digital de +24 V CC nos terminais S1 ou S2 consoante se pretende o movimento de descida ou de subida quando os respectivos contactores de movimento são actuados pelo PLC. O terminal S1 é a selecção da entrada multifunções 1 e recebe o sinal digital do sentido de descida, S_{des} , correspondente ao sentido directo no variador, quando é aplicada a tensão de +24 V CC ao contactor de movimento de descida KD pelo PLC. O terminal S2 é a selecção da entrada multifunções 2 e recebe o sinal digital do sentido de subida, S_{sub} , correspondente ao sentido inverso no variador, quando é aplicada a tensão de +24 V CC ao contactor de movimento de subida KS pelo PLC.

Botões

Cada botão é conectado a uma fonte de alimentação externa do controlador lógico programável de +24 V CC. Quando actuados pelo operador enviam um sinal digital ao módulo de entradas discretas do PLC no caso de serem do tipo NA (botões de comando B0, B1 e B2) ou interrompe o sinal digital de +24 V CC no caso de ser do tipo NF (botão de paragem de emergência PE).

Actuadores

O bloco dos actuadores é constituído pelo contactor de movimento de descida KD, contactor de movimento de subida KS e relés do freio electromecânico KF1 e KF2.

Através das suas saídas discretas (digitais) a relé, o PLC aplica uma tensão de alimentação de +24 V CC aos terminais da bobina de cada actuador. Quando é actuado o contactor de descida KD é aplicado o sinal digital em tensão de +24 V CC do sentido de descida, Sdes, no terminal S1 de entradas digitais do variador de frequência. Quando é actuado, o contactor de subida KS é aplicado o sinal digital em tensão de +24 V CC do sentido de subida, Ssub, no terminal S2 de entradas digitais do variador de frequência. Como referido anteriormente, ao sinal digital de sentido de descida, Sdes, corresponde o sentido de movimento directo no variador e ao sinal de sentido de subida, Ssub, corresponde o sentido de movimento inverso no variador. À bobina do freio electromecânico é aplicada uma tensão de +96 V CC proveniente de um circuito especial para o efeito por intermédio dos relés do freio KF1 e KF2. Como medida de segurança optou-se por colocar dois relés em série para no caso de um ficar «colado» quando da paragem da cabina, o outro permitir o corte da tensão de alimentação e a actuação do freio da máquina de tracção e consequente paragem desta.

Sistema de Elevação

O sistema de elevação é composto pela máquina de tracção eléctrica, sistema de suspensão (cabo de suspensão e suas fixações), cabina com os seus quatro sensores de posição montados no topo desta, contrapeso com rampa de actuação dos dois sensores de fim de curso de segurança, cada qual montado nas respectivas posições extremas de uma das guias do contrapeso. Os sensores de fim de curso inferior, FCI, e fim de curso superior, FCS, são alimentados por um circuito de +24 V CC independente para o efeito e enviam o respectivo sinal digital de informação para o PLC da posição do contrapeso correspondente à posição da cabina quando esta ultrapassa os patamares extremos de funcionamento. Os sensores de posição da cabina estão representados no pormenor 1 da figura.

Pormenor 1 (sensores de posição da cabina)

Neste esquemático representam-se os quatro sensores de posição da cabina, de actuação magnética. Os sensores AF e AT são sensores de posição e indicam em que patamar (P0, P1 e P2) está a cabina. O sensor BF indica que a cabina só pode subir quando está no patamar P0, enquanto o sensor BT indica que a cabina só pode descer quando está no patamar P2.

Os sensores AF e AT juntamente com os sensores BF e BT indicam o sentido de movimento quando a cabina está (parada) em cada patamar extremo (P0 ou P2).

Este tipo de sensores e o seu funcionamento foram descritos no capítulo 2 na subsecção 2.6.1.

O sensor AF deve o seu nome devido à sua constituição física ser uma ampola (designada pela letra A) e estar colocado na parte da frente do acesso da cabina (designado pela letra F) do lado esquerdo. Para o sensor AT o mesmo, mas encontra-se colocado na parte de trás da cabina (designado pela letra T) do lado esquerdo. O sensor BF deriva o seu nome devido à sua constituição física ser uma ampola e o modo de funcionamento ser do tipo biestável (designado pela letra B) e estar colocado na parte da frente do acesso da cabina (designado pela letra F) do lado direito. Para o sensor BT o mesmo, mas encontra-se colocado na parte de trás da cabina (designado pela letra T) do lado direito.

Os sensores AF e AT são do tipo monoestável e os seus contactos, do tipo NA, fecham ao passar frente a um íman e abrem fora deste. Os sensores BF e BT são do tipo biestável, com efeito de memória, o que significa que mantendo um sentido de movimento ao passarem frente ao respectivo íman são actuados e mantêm esse estado mesmo fora do íman para o mesmo sentido de movimento. Assim que invertem o sentido de movimento, ao voltarem a passar novamente pelo íman alteram o seu estado voltando ao estado de origem.

3.3.6 Tabela de Endereços do PLC TSX Micro 3721

Após a descrição do autómato programável, variador de frequência, automatismo e processo nas subsecções anteriores e tendo em consideração as especificações do processo e do automatismo enumeradas na secção 3.2, de seguida, apresenta-se a Tabela 3.1 de Endereços de Ligação de Entradas/Saídas do PLC TSX Micro 3721.

Nesta tabela e conforme referido na secção 3.3.2, as entradas (*inputs*) digitais são referenciadas por %I1.x, com $x = \{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$ e as saídas (*outputs*) digitais por %Q2.y, com $y = \{0,1,2,3\}$. É de salientar que a saída analógica %QW5.4 do módulo de entradas/saídas analógicas do controlador lógico programável é o meio pelo qual este envia o sinal em tensão analógica de 0 a +10 V CC para o variador de frequência que corresponde à frequência pretendida para controlar a velocidade do motor eléctrico. A entrada analógica %IW5.0 do módulo de entradas/saídas analógicas do controlador lógico programável «lê» o sinal analógico de 0 a +10 V CC enviado pelo variador correspondente à frequência estimada por este do motor eléctrico.

Tabela 3.1 – Endereços de Ligação de Entradas/Saídas do PLC TSX Micro 3721

Dispositivo	Sigla Esquema Eléctrico	Tipo de Contacto	Endereço no PLC	Tipo de Sinal	Tipo de Actuação
Botão Reset ou Rearme	B0	NA (NO)	%I1.0	Entrada Digital +24 V CC	Pressão
Botão Piso 1	B1	NA (NO)	%I1.1	Entrada Digital +24 V CC	Pressão
Botão Piso 2	B2	NA (NO)	%I1.2	Entrada Digital +24 V CC	Pressão
Botão Paragem de Emergência	PE	NF (NC)	%I1.3	Entrada Digital +24 V CC	Pressão
Fim de Curso Inferior	FCI	NF (NC)	%I1.5	Entrada Digital +24 V CC	Mecânica
Fim de Curso Superior	FCS	NF (NC)	%I1.4	Entrada Digital +24 V CC	Mecânica
Ampola Frente	AF	NA (NO)	%I1.6	Entrada Digital +24 V CC	Magnética
Ampola Trás	AT	NA (NO)	%I1.7	Entrada Digital +24 V CC	Magnética
Ampola Biestável Frente (Extremo Inferior)	BF	Memória	%I1.8	Entrada Digital +24 V CC	Magnética
Ampola Biestável Trás (Extremo Superior)	BT	Memória	%I1.9	Entrada Digital +24 V CC	Magnética
Relé Descida KD	KM0	-	%Q2.0	Saída Digital +24 V CC	Electromagnética
Relé Subida KS	KM1	-	%Q2.1	Saída Digital +24 V CC	Electromagnética
Relé Freio 1 KF1	KF2	-	%Q2.2	Saída Digital +24 V CC	Electromagnética
Relé Freio 2 KF2	KF3	-	%Q2.3	Saída Digital +24 V CC	Electromagnética
-	-	-	%IW5.0	Entrada Analógica 0 a +10 V CC	-
-	-	-	%QW5.4	Saída Analógica 0 a +10 V CC	-

3.3.7 Arquitecturas Conceptuais de Controlo de Posição/Velocidade

Existem dois tipos de arquitectura conceptual de controlo de posição/velocidade, ambas em anel aberto, tendo em conta o caso em que não existem falhas ou avarias.

Em virtude de se pretender projectar um sistema de controlo de posição da cabina ao longo do seu curso através do controlo de velocidade do motor eléctrico, a arquitectura representada na Figura 3.13 é composta pelos blocos do PLC correspondente ao controlador lógico programável, botões, variador de frequência com consola de interface homem máquina (HMI), sistema de elevação, integrador e sensores de posição (cabina/contrapeso).

Antes de se detalhar o funcionamento desta arquitectura descreve-se o significado de cada variável. Deste modo, as variáveis utilizadas nesta arquitectura têm o seguinte significado:

- x_s - sinal de posição da cabina lido pelos sensores
- b_c - sinal dos botões de comando e paragem de emergência;
- u_r - sinal de tensão de referência de saída do PLC;
- u - sinal de tensão instantânea enviada pelo variador de frequência para o motor eléctrico;
- i - sinal de corrente instantânea enviada pelo variador de frequência para o motor eléctrico;
- f - sinal de frequência instantânea enviada pelo variador de frequência para o motor eléctrico;
- v_i - sinal de velocidade instantânea;
- x_i - sinal de posição instantânea da cabina.

De um modo sucinto, o autómato programável, PLC, recebe informação proveniente dos sensores, x_s , controla a posição de destino da cabina através do envio do sinal de referência em tensão, u_r , correspondente à velocidade pretendida para o variador de frequência, o qual, por sua vez, controla a velocidade do motor.

O variador envia os sinais instantâneos da tensão eléctrica, u , intensidade de corrente eléctrica, i , e frequência eléctrica, f , para o motor eléctrico o qual faz parte do sistema de elevação.

O sinal de posição instantânea da cabina, x_i , é obtido integrando a velocidade instantânea da cabina, v_i .

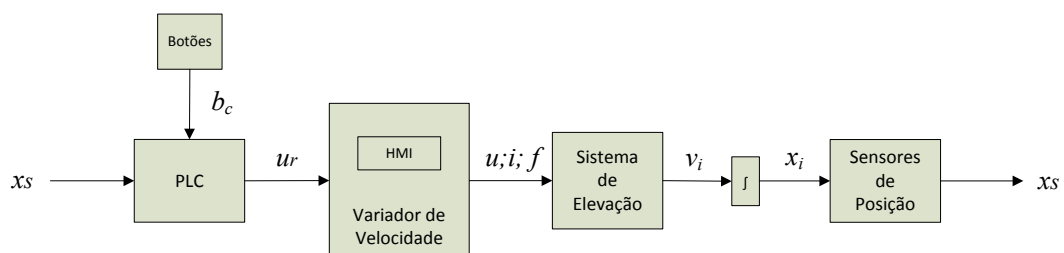


Figura 3.13 – Arquitectura Conceptual de Controlo de Posição/Velocidade pelo Automatismo

A arquitectura ilustrada na Figura 3.14 é constituída pelo variador de frequência com consola de interface homem máquina (HMI), sistema de elevação e integrador. Neste tipo de controlo o utilizador introduz o valor da frequência de referência pretendida que corresponde à velocidade de referência para o motor eléctrico, f_r , directamente no variador de frequência através da sua consola HMI e controla a posição da cabina, x_i , visualmente.

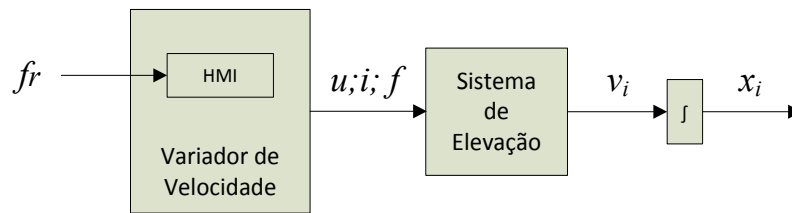


Figura 3.14 – Arquitectura Conceptual de Controlo de Posição/Velocidade pelo Utilizador

3.3.8 Arquitectura de *Software*

A arquitectura de *software* do sistema a implementar ilustra-se na Figura 3.15. Para o projecto desta, foi tido em consideração que o controlador lógico programável a utilizar é o TSX Micro 3721 e o ambiente de programação o *software* PL7 Junior. Esta arquitectura é constituída por blocos de *hardware* e *software*. A mesma elucida quanto à troca de informação entre os diferentes programas utilizados (em SFC/IL e ST), endereços dos bits de sistema, botões, sensores, actuadores, memórias e etapas.

Dos blocos de *hardware* representados fazem parte os correspondentes aos botões, aos sensores, aos actuadores e o bloco do variador de frequência (ou velocidade). Dos blocos de *software* fazem parte o bloco ST correspondente ao texto estruturado e os blocos correspondentes à secção de programa escrita em Diagrama Funcional em Sequência (SFC), implementação prática do Grafcet segundo a norma IEC 61131-3, sendo eles os blocos PrI, Chart (SFC/IL_P, SFC/IL_S1, SFC/IL_S2) e Post. O bloco PrI corresponde ao tratamento preliminar, o bloco Chart ao processamento sequencial e Post ao tratamento posterior. O processamento sequencial é programado graficamente, sendo composto pelos blocos do SFC principal, SFC/IL_P, do SFC da sequência de funcionamento 1, SFC/IL_S1, e do SFC da sequência de funcionamento 2, SFC/IL_S2. O bloco %Mx corresponde às memórias binárias e o bloco %MWy corresponde às memórias do tipo *word* “palavra”. Convém referir que por questões de simplicidade e rapidez optou-se pela programação na linguagem lista de instruções, IL, do tratamento preliminar, PrI, tratamento posterior, Post, e das transições inerentes aos três diagramas de SFC/Grafcet, SFC_P, SFC_S1 e SFC_S2. De seguida, descreve-se de um modo mais detalhado as funções inerentes aos blocos ST e da secção de programação escrita em Grafcet segundo a norma IEC 61131-3 correspondente à linguagem SFC.

O código programado em texto estruturado (ST) «lê» e faz a gestão das memórias, lê a informação correspondente às etapas provenientes dos blocos SFC/IL_P, SFC/IL_S1, SFC/IL_S2 e Post, inicia o temporizador para escolha da sequência de funcionamento, permite a escolha da sequência de funcionamento, «lê» a informação proveniente dos botões, sensores, saídas digitais a relé de alimentação dos actuadores e atribui o valor do sinal analógico em tensão correspondente à atribuição

das frequências de funcionamento do motor eléctrico, enviado pelo controlador lógico programável para o variador de frequência.

A secção de programação escrita em SFC acede a algumas das memórias inerentes ao funcionamento dos três diagramas de SFC, acede à informação inerente aos sensores de posição da cabina e fins de curso, botão B0 de reinício/reset e gere/controla as saídas digitais correspondentes aos actuadores.

O tratamento preliminar é guardado sempre em memória e é lido antes do processo sequencial e tratamento posterior. Serve para processar todos os eventos que têm um efeito relacionado com a alimentação eléctrica e inicialização do sistema, falha de energia eléctrica, a actuação de uma segurança, reset a zero e pré-inicialização dos grafos, reinicialização do sistema. É importante referir que sempre que existe falha de energia eléctrica ou quando da actuação de uma segurança, todas as saídas relacionadas com os Grafets ou SFCs são bloqueadas, para evitar acidentes por parte do utilizador e danos nos componentes físicos do elevador. Deste modo, os bits de sistema, seguranças e a memória do tipo *word* inerentes ao tratamento preliminar estão representados no bloco PrI.

O processamento sequencial é utilizado para efectuar a estrutura sequencial do SFC principal, SFC_P, SFC da sequência de funcionamento S1, SFC_S1 e SFC da sequência de funcionamento S2, SFC_S2, processar as três estruturas sequenciais da aplicação, e dar acesso às condições das transições e acções directamente associadas às etapas.

O tratamento posterior gere/controla as saídas digitais,%Q2.s, para os actuadores através da ativação destas com base na informação proveniente dos estados de cada etapa, %Xi, %Xj e %Xk, dos três diagramas de SFC. Por outras palavras, para não haver conflito nos três diagramas de SFC, SFC_P, SFC_S1 e SFC_S2 é no tratamento posterior que a actualização das saídas para os actuadores é efectuada.

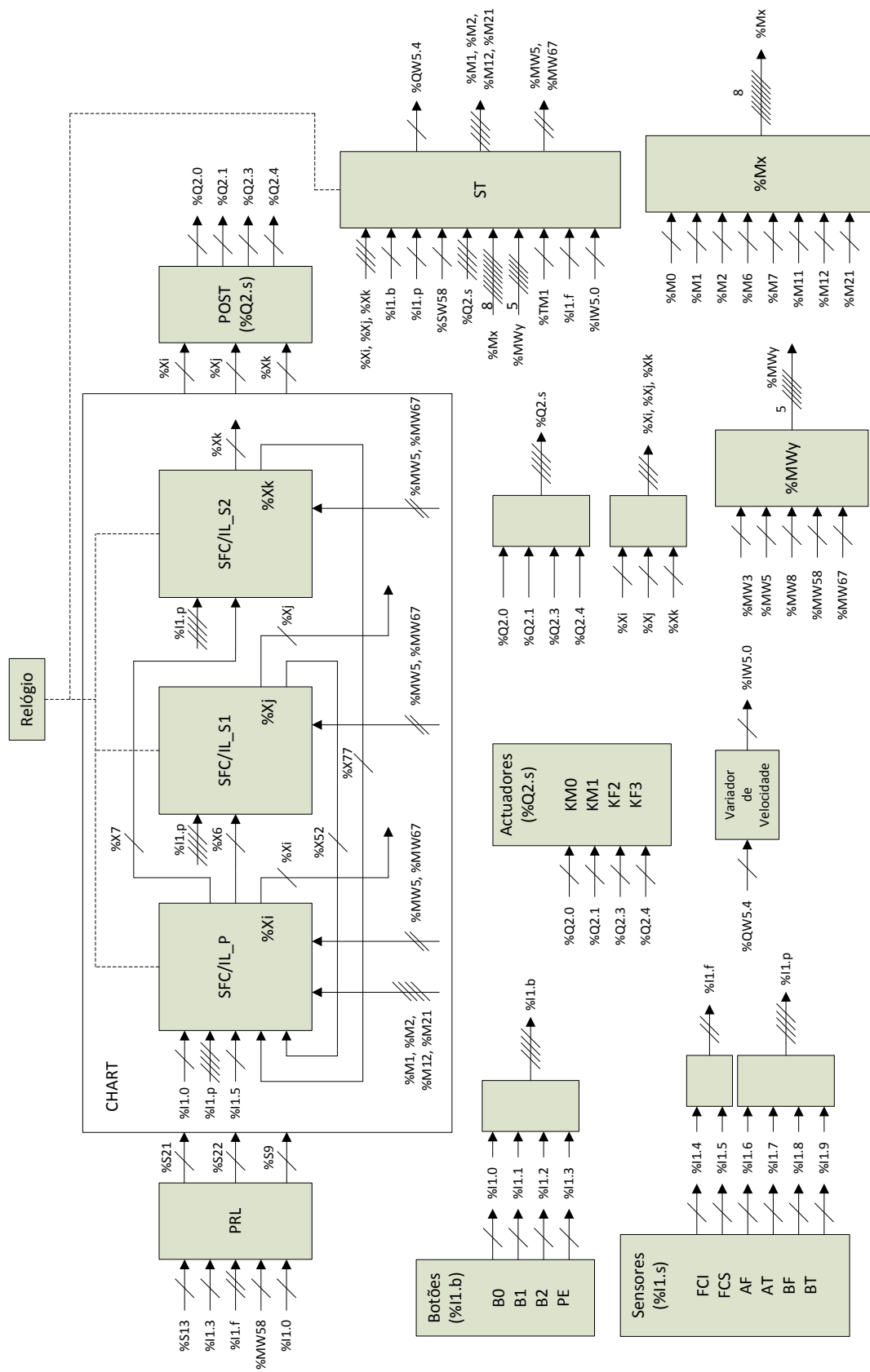


Figura 3.15 – Arquitetura de *Software*.

3.3.9 Diagramas de Grafcet do Protótipo de Elevador

Como referido na secção 3.1, em virtude do funcionamento de um elevador ser um sistema automático sequencial devido à sua cabina funcionar entre níveis de patamar definidos e o controlador lógico programável a utilizar ser o Modicon TSX Micro 3721 da Telemecanique pertencente ao grupo Schneider Electric cujo *software* PL7 Junior permite a programação em Linguagem de especificação Grafcet a qual está em conformidade com a linguagem para Diagramas Funcionais Sequenciais (SFC) homologada pela actual norma IEC 61131-3, na presente subsecção apresentam-se os diagramas de Grafcet correspondentes ao protótipo de elevador a desenvolver. É importante salientar que optou-se pela apresentação dos diagramas de Grafcet de nível 2 desenvolvidos, em detrimento dos diagramas de Grafcet de nível 1. O motivo que condicionou esta escolha é o facto de os diagramas de Grafcet de nível 2 serem baseados numa apresentação com base nas especificações tecnológicas ao contrário dos diagramas de Grafcet de nível 1 que são apenas baseados nas especificações funcionais, permitindo uma implementação prática mais rápida. Os pormenores associados às interações com as memórias geridas pelo texto estruturado ST, botões e sensores serão explicados na subsecção 3.4.4 do código implementado SFC/IL e ST.

Como enunciado na subsecção 3.3.8 e conforme ilustram a Figura 3.16 e Figura 3.17, existem três diagramas de Grafcet inerentes ao funcionamento do sistema de elevação electromecânico a automatizar, sendo eles, o Grafcet Principal representado em «Page 0», o Grafcet da Sequência de Funcionamento 1 representado em «Page 1» e o Grafcet da Sequência de Funcionamento 2 representado em «Page 2». Estes diagramas de Grafcet serão descritos adiante com mais pormenor. No entanto, convém lembrar, que o protótipo de elevador monta-cargas a projectar serve 3 níveis de patamar definidos, P0, P1 e P2 e a cabina é carregada em P0 onde se encontra o operador, o qual escolhe a sequência de funcionamento S1 ou S2.

A secção de programação escrita em Grafcet acede a algumas das memórias inerentes ao funcionamento dos três diagramas de Grafcet e gere/controla as saídas digitais correspondentes aos actuadores.

Grafcet Principal

O diagrama de Grafcet Principal faz a gestão do arranque e paragem do automatismo e gestão dos restantes diagramas de Grafcet referentes à sequência de funcionamento 1 e sequência de funcionamento 2 (Figura 3.16).

Sempre que são alimentados todos os circuitos eléctricos inerentes ao automatismo e processo após falha de energia eléctrica e respectiva reposição, ou quando da actuação de uma segurança com os programas a correr no autómato programável, é necessário repor a zero ou reinicializar os três diagramas de Grafcet, pressionando o botão B0 de rearme (*reset*) que permite a evolução do Grafcet principal e consequentemente dos restantes.

Após a reposição da energia eléctrica, quando a cabina se encontra no patamar P0 e após pressionado o botão B0 de rearme (*reset*), permite a evolução para o Grafcet da sequência de funcionamento 1, S1, ou o Grafcet da sequência de funcionamento 2, S2. Quando a cabina não se encontra no patamar P0, após pressionado o botão B0, permite «o envio» da mesma para o patamar P0, em velocidade lenta, ao fim de uma temporização de 4 segundos. Esta temporização permite o operador afastar-se do acesso do patamar P0, como medida de segurança, antes do início do movimento da cabina para o referido patamar.

Grafcet da Sequência de Funcionamento 1

Este diagrama de Grafcet permite inicializar a Sequência de Funcionamento 1 (Figura 3.16), S1, após uma temporização de 4 segundos que permite o operador afastar-se do acesso do patamar P0, como medida de segurança, antes da partida da cabina para o patamar P1 (subida). Quando esta chega ao referido patamar espera 4 segundos, e arranca para o patamar P0 (descida) finalizando a sequência de funcionamento quando da chegada a este.

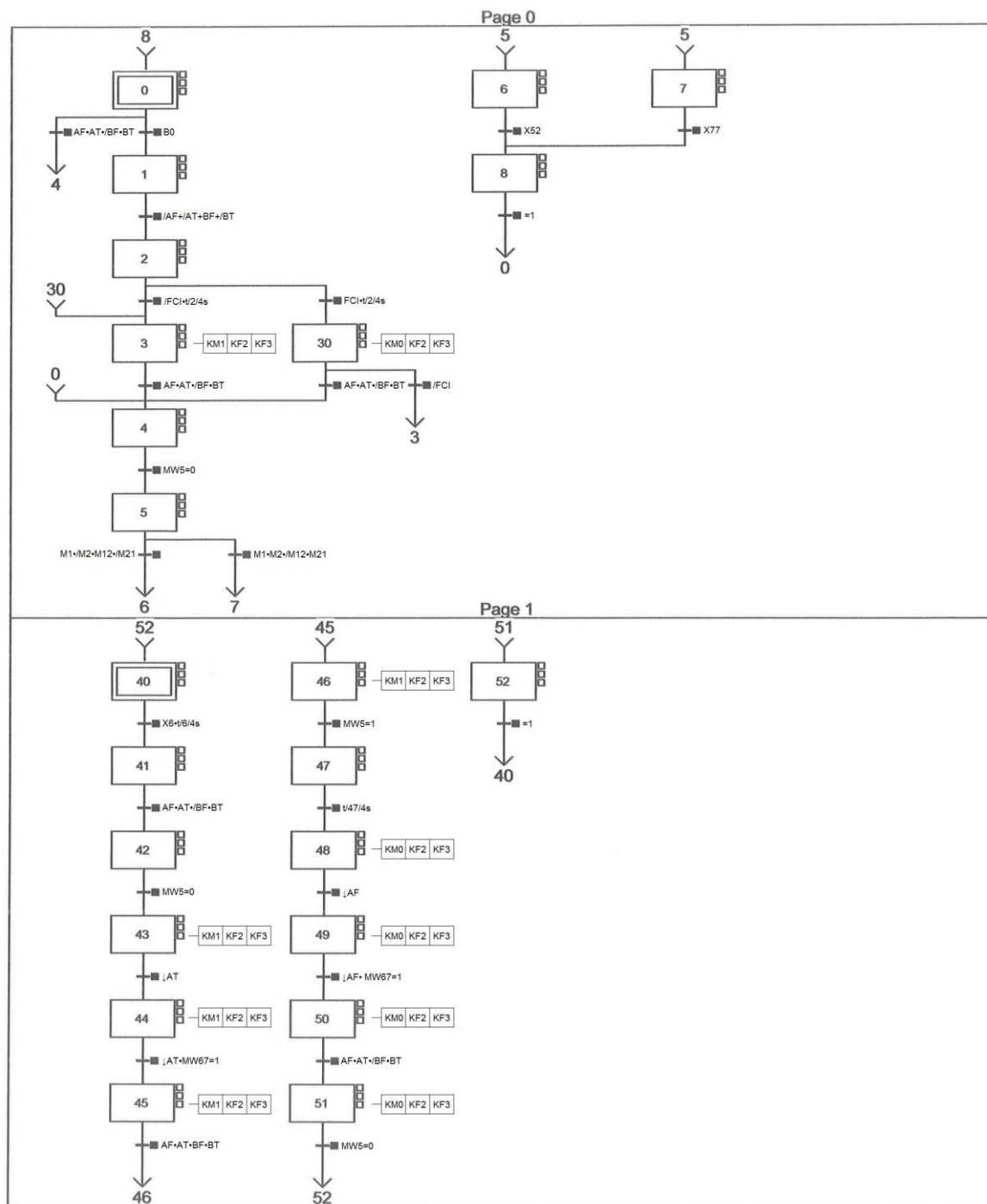


Figura 3.16 – Grafcet Principal (Page 0) e Grafcet da Sequência de Funcionamento 1 (Page 1).

Grafcet da Sequência de Funcionamento 2

Este diagrama de Grafcet permite inicializar a Sequência de Funcionamento 2 (Figura 3.17), S2, após uma temporização de 4 segundos que permite o operador afastar-se do acesso do patamar P0, como medida de segurança, antes da partida da cabina para o patamar P2 (subida). Quando esta chega ao referido patamar espera 4 segundos, e arranca para o patamar P1 (descida). Quando chega ao patamar

P1 espera 4 segundos e arranca para o patamar P0 (descida) finalizando a sequência de funcionamento quando da chegada a este.

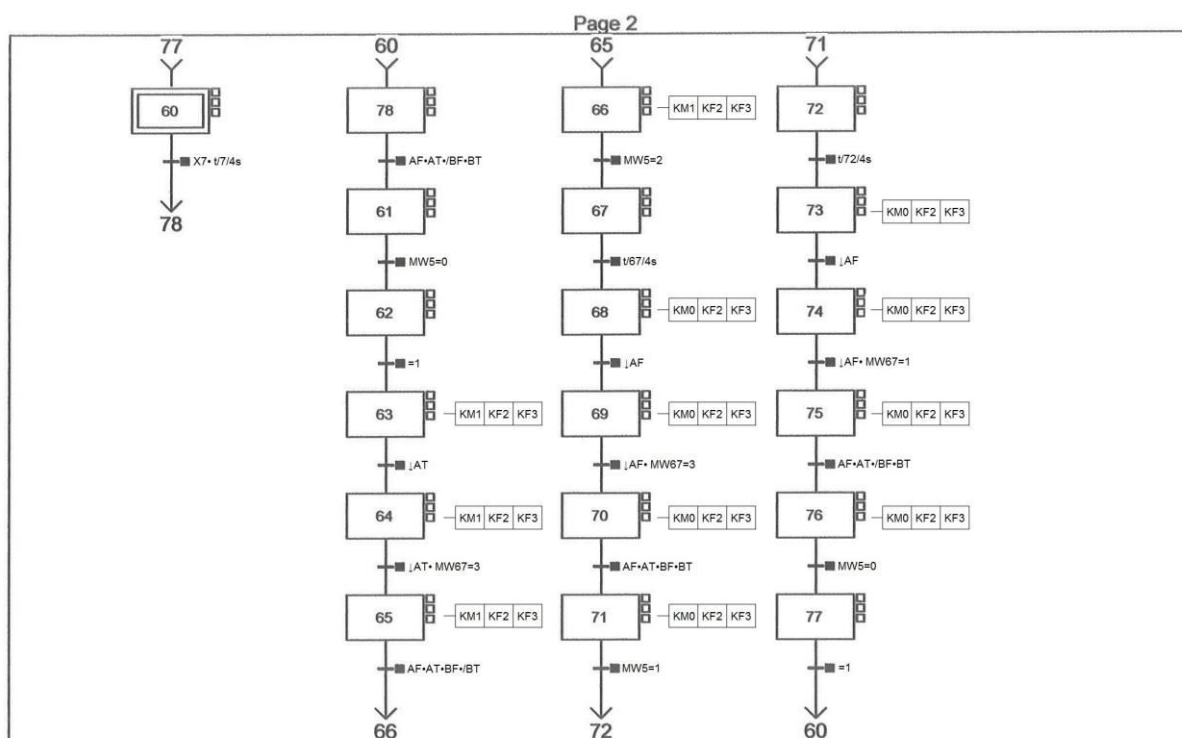


Figura 3.17 – Grafcet da Sequência de Funcionamento 2 (Page 2).

Considerações inerentes aos três diagramas de Grafcet

Após explicados, de um modo sucinto, os três diagramas de Grafcet de funcionamento do elevador monta-cargas protótipo, é importante referir que, nos três diagramas de Grafcet de nível 2, optou-se pela utilização das respectivas siglas utilizadas nos esquemas de circuitos eléctricos. Deste modo, associado ao movimento de descida está o contactor de descida, KM0, e associado ao movimento de subida está o contactor de subida, KM1. Do mesmo modo, associados à libertação do freio (travão) electromecânico, e consequentemente do rotor do motor eléctrico, estão os relés KF2 e KF3. As acções externas de movimento de subida, KM1, e de libertação do freio electromecânico, KF2 e KF3, são executadas pela respectiva etapa quando esta se encontra activa. Do mesmo modo, as acções externas de movimento de descida, KM0, e de libertação do freio electromecânico, KF2 e KF3, são executadas pela respectiva etapa quando esta se encontra activa.

3.3.10 Disposição dos ímans e fins-de-curso ao longo das guias e mudanças de velocidade

A Figura 3.18 e Figura 3.19 mostram a disposição dos ímans ao longo das guias da cabina e sensores AF, AT, BF e BT do protótipo de elevador de monta-cargas e a disposição dos fins-de-curso ao longo

das guias do contrapeso. Para se ganhar mais distância entre patamares devido à necessidade de se parametrizar em caso futuro as rampas ou curvas de aceleração e desaceleração do variador de frequência, optou-se por montar os fins-de-curso do lado do contrapeso em vez do lado da cabina. Deste modo, o fim-de-curso inferior ficou montado em cima e o fim-de-curso superior ficou montado em baixo.

Uma vez que o elevador é de velocidade variável, a cabina tem as velocidades, v_0 , v_1 e v_2 , correspondentes, respectivamente, à velocidade nula (quando está parada), velocidade lenta e velocidade rápida (máxima). Conforme ilustra Figura 3.18 e Figura 3.19 a mudança de velocidade no (sentido de) movimento de subida é efectuada pelo sensor de posição da cabina AT depois de esta arrancar do patamar P0 ou quando está prestes a chegar ao patamar de destino P1 ou P2. A mudança de velocidade no (sentido de) movimento de descida é efectuada pelo sensor de posição da cabina AF depois de esta arrancar do patamar P1 ou quando está prestes a chegar ao patamar P0 (Figura 3.18), ou depois de arrancar do patamar P2 ou está prestes a chegar ao patamar P1 (Figura 3.19).

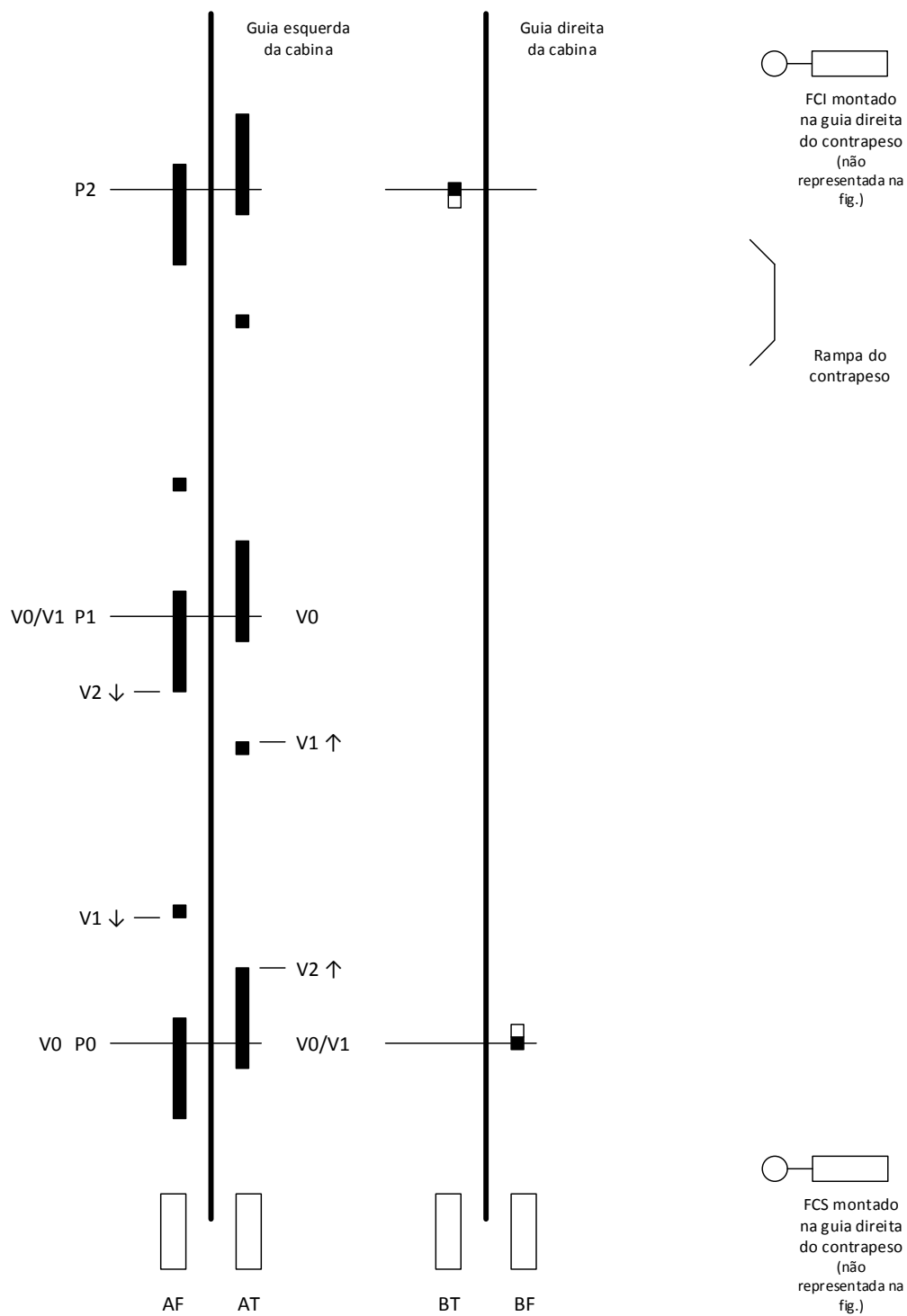


Figura 3.18 – Disposição dos ímãs e fins-de-curso ao longo das guias: mudanças de velocidade para a Sequência de Funcionamento 1

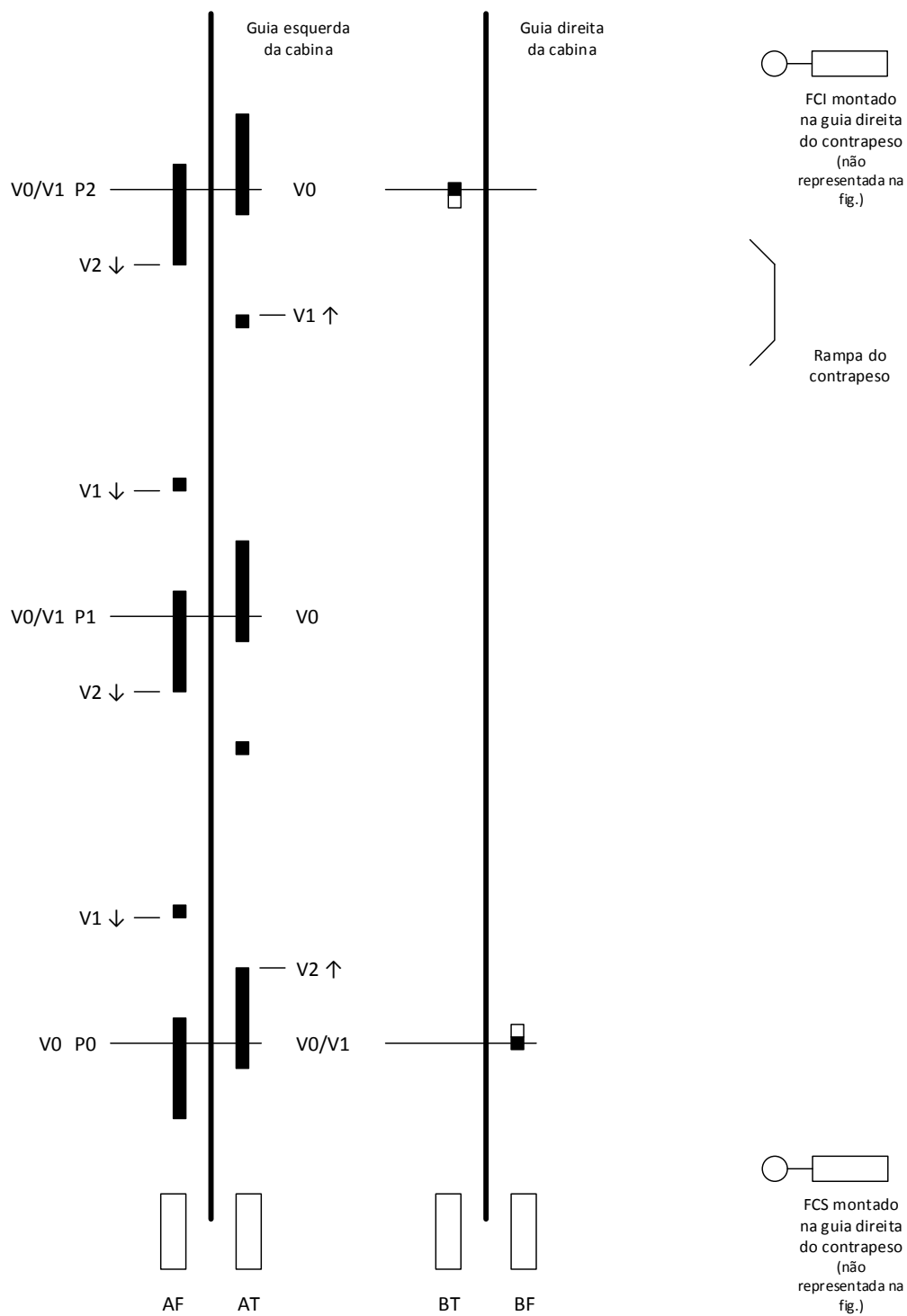


Figura 3.19 – Disposição dos ímãs e fins-de-curso ao longo das guias: mudanças de velocidade para a Sequência de Funcionamento 2

3.4 Implementação

Esta secção visa a descrição do protótipo de elevador monta-cargas projectado do ponto de vista mecânico, eléctrico, de automatização e de programação e sua implementação prática.

3.4.1 Descrição do Protótipo

O protótipo de elevador monta-cargas desenvolvido está representado na Figura 3.20. O mesmo é constituído pela estrutura metálica de suporte, máquina de tracção eléctrica (motor assíncrono trifásico, freio (travão) electromecânico, caixa redutora e roda de aderência, cabina (com a respectiva arcada e roçadeiras), contrapeso (com a respectiva arcada e roçadeiras), órgãos de suspensão (cabo de suspensão e sistema de fixação à cabina e ao contrapeso), guias da cabina, guias do contrapeso, amortecedor da cabina, amortecedor do contrapeso, cabo flexível, outros cabos e fios condutores eléctricos, interruptor diferencial trifásico, disjuntor trifásico, disjuntor monofásico do transformador, disjuntor monofásico da fonte de tensão de alimentação, disjuntor monofásico do controlador lógico programável (PLC), fonte de alimentação de tensão contínua, Controlador Lógico Programável (PLC), variador de frequência (VF), transformador, ponte rectificadora de onda completa com condensador, botoneira de rearme (reset) e escolha de sequência (botões B0, B1 e B2 respectivamente), paragem de emergência (botão PE), fim de curso de inferior (FCI), fim de curso de superior (FCS), sensores de posição da cabina (AF, AT, BF e BT) e respectivos ímans, contactor de descida (KM0) e contactor de subida (KM1) com encravamento mecânico, relé do freio electromecânico nº 1 (KF2) e relé do freio electromecânico nº 2 (KF3).

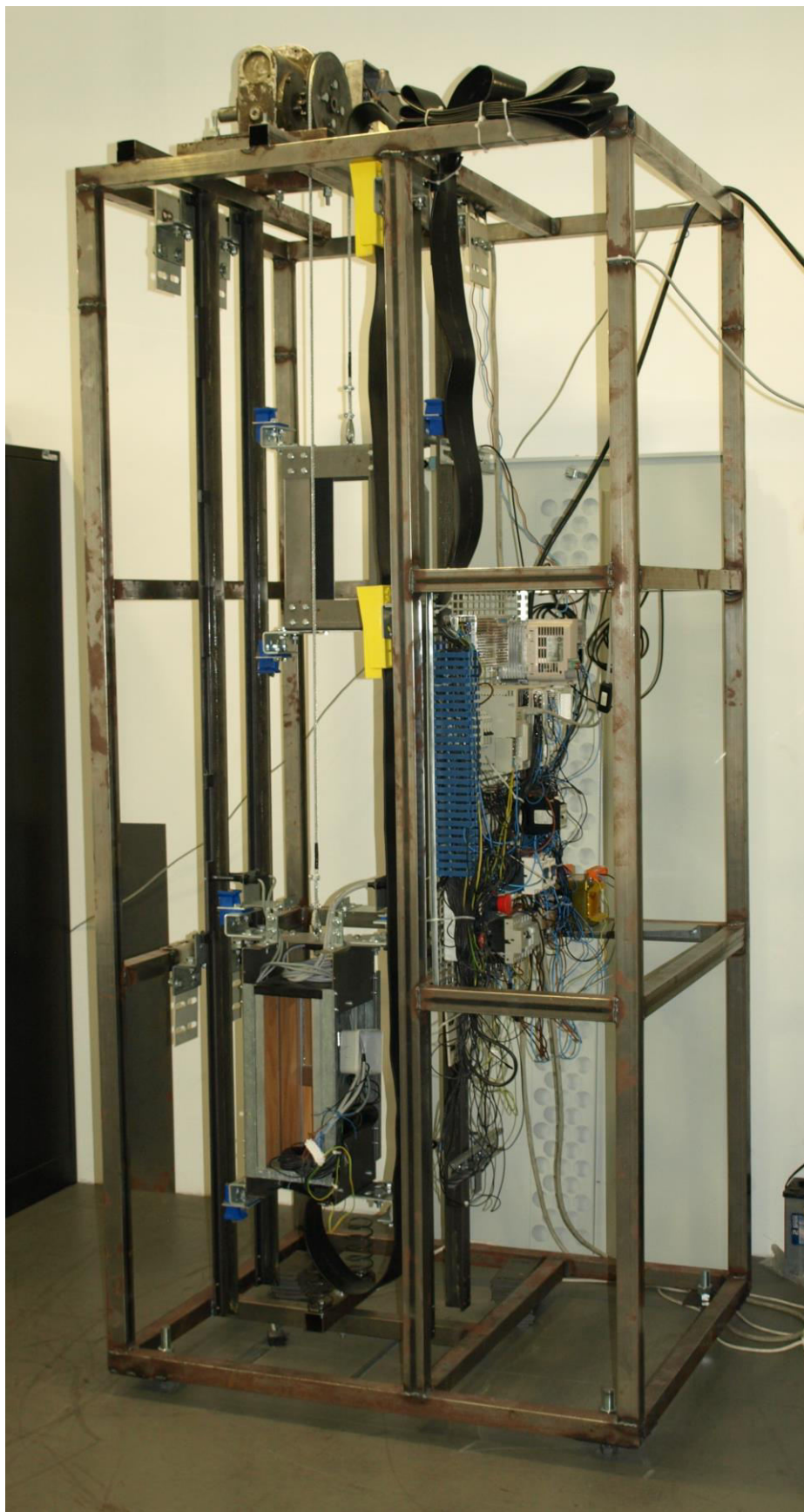


Figura 3.20 – Protótipo de elevador monta-cargas: processo e automatismo (fase de testes)

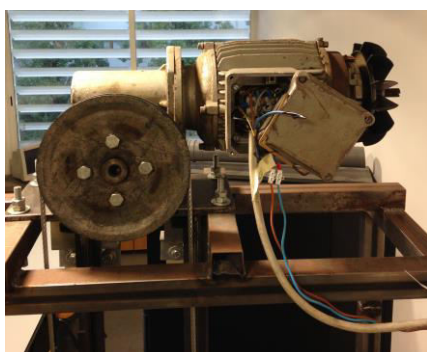
De seguida, descrevem-se alguns dos elementos constituintes do elevador protótipo acima referidos retratando na secção 3.4.2 os componentes inerentes à instalação eléctrica com mais detalhe.

Estrutura metálica autoportante (de suporte)

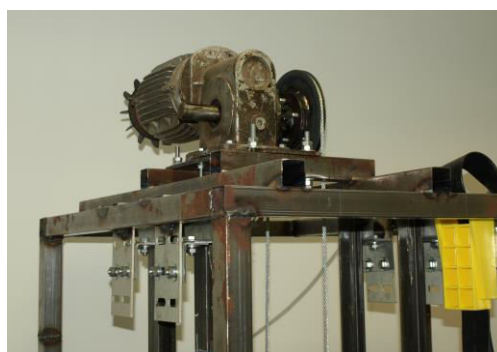
Suporta e alberga toda a infra-estrutura física do elevador, mecânica e eléctrica, inclusive todos os elementos constituintes do elevador, acima descritos. É constituída por perfis tubulares de aço de secção quadrada, soldados. Está assente no pavimento através de quatro apoios (sapatas) reguláveis em altura que permitem manter toda a estrutura nivelada na horizontal, vertical e diagonal.

Máquina de tracção eléctrica

É constituída pelo motor assíncrono trifásico, freio (travão) electromecânico de disco, caixa redutora do tipo parafuso sem-fim/roda de coroa e roda de aderência. Está montada no cimo da estrutura metálica autoportante de suporte (Figura 3.21).



(a)



(b)

Figura 3.21 – Máquina de Tracção

Cabina

É constituída pela respectiva arcada e roçadeiras. No topo da arcada estão montados os quatro sensores de posição da cabina (AF, AT, BF e BT). No seu lado direito estão montados o cabo flexível e a caixa de derivação dos fios condutores eléctricos (Figura 3.22).



(a)



(b)

Figura 3.22 – Cabina

Contrapeso

É constituído pela respectiva arcada e roçadeiras. No seu lado direito está montada a rampa que acciona o fim de curso inferior e o fim de curso superior. É possível tareá-lo com chapas em aço. Situa-se por detrás da cabina (Figura 3.23).



(a)



(b)

Figura 3.23 – Contrapeso; respectiva mola; Fim de Curso Superior.

Órgãos de suspensão

Conforme se pode observar na Figura 3.24, dos órgãos de suspensão fazem parte o cabo de suspensão de aço e sistema de fixação à cabina e ao contrapeso. O sistema de fixação do cabo de suspensão à cabina é constituído por dois cerra cabos, sapatilho, tirante de olhal, duas anilhas de chapa, porca e contraporca. Do lado da cabina existe uma borracha de amortecimento entre as duas anilhas de chapa. O sistema de fixação do cabo de suspensão ao contrapeso é constituído pelos mesmos elementos que o sistema de fixação à cabina, mas tem uma mola em vez da borracha para amortecer os esforços resultantes das acelerações, desacelerações e paragens.

Como o protótipo de elevador desenvolvido é um monta-cargas, não é obrigatório o uso de dois ou mais cabos de suspensão bastando apenas um. O cabo de suspensão funciona por aderência no gorne da respectiva roda. A relação de suspensão é do tipo directa (suspensão directa 1:1).



(a)



(b)

Figura 3.24 – Órgãos de suspensão

Guias da cabina e do contrapeso

As guias estão posicionadas a toda a altura da estrutura metálica autoportante de suporte no seu interior (Figura 3.25 *a, b e c*). Estão fixas a esta por intermédio dos respectivos sistemas de fixação e posicionadas paralelamente umas às outras. Têm perfil “T” e são de aço estirado. Existem duas guias para a cabina e outras duas para o contrapeso. A distância de entre guias da cabina é de 382 mm, assim como, a distância de entre guias do contrapeso.

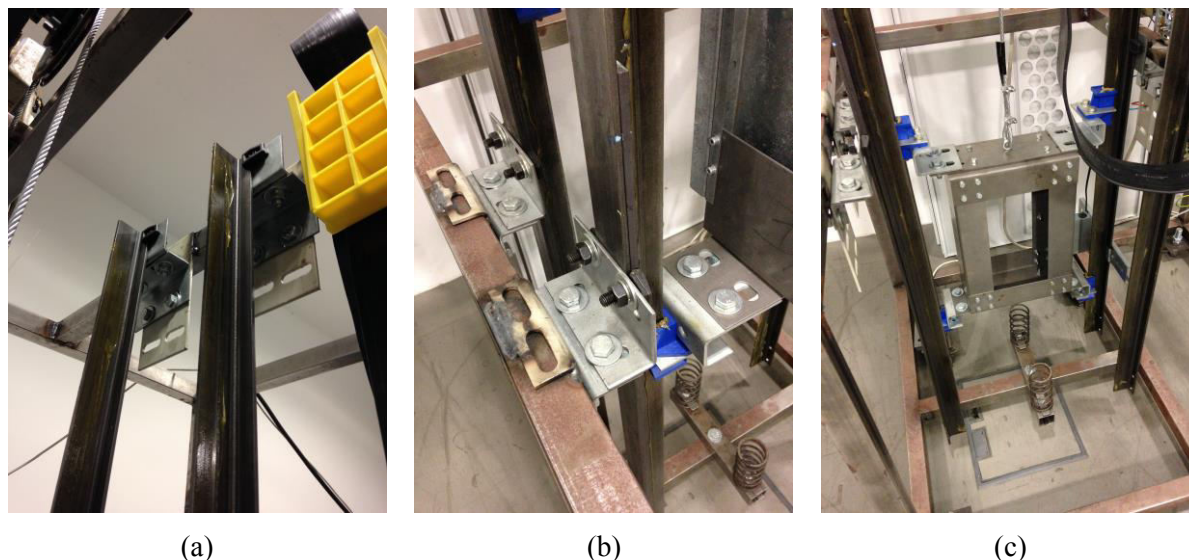


Figura 3.25 – Guias e sistema de fixação

Amortecedores da cabina e do contrapeso

Na base da estrutura existe um amortecedor de mola para a cabina e outro para o contrapeso de modo a amortecer o impacto caso ultrapassem o curso de funcionamento (Figura 3.26). Quando a cabina ou contrapeso embatem no respectivo amortecedor, a própria estrutura metálica do conjunto ajuda a dissipar a energia e a amortecer o embate.



Figura 3.26 – Amortecedores

Cabo flexível

É o cabo entre a cabina e um ponto fixo no quadro eléctrico para a ligação da instalação eléctrica à cabina e tudo de inerente a esta (Figura 3.27). É um cabo plano, para evitar torcer quando em movimento, sendo constituído por 28 fios condutores em que um deles é o fio de terra. A ele são ligados os sensores de posição de cabina através da 1ª caixa de junção.



(a)



(b)

Figura 3.27 – Cabo flexível

Cabos e condutores eléctricos

Utilizou-se um cabo trifásico para alimentação do motor trifásico pelo variador de frequência, um cabo de dois condutores para a ligação a cada um dos fins de curso de segurança (FCI e FCS) e para os restantes circuitos apenas condutores eléctricos.

Protecções eléctricas

Para proteger os vários circuitos eléctricos, conforme ilustrado na Figura 3.28, foram utilizados um **interruptor diferencial trifásico** para proteger contra os efeitos de correntes de fuga à terra, um **disjuntor trifásico** para proteger o circuito de potência a montante do variador de frequência contra curto-circuitos, um **disjuntor monofásico do transformador** que protege a alimentação do transformador contra curto-circuitos a montante deste, um **disjuntor monofásico da fonte de tensão de alimentação** que protege a alimentação da fonte de tensão de alimentação contínua contra curto-circuitos a montante desta, um **disjuntor monofásico do controlador lógico programável (PLC)** que protege a alimentação do controlador lógico programável contra curto-circuitos a montante deste (Figura 3.29).

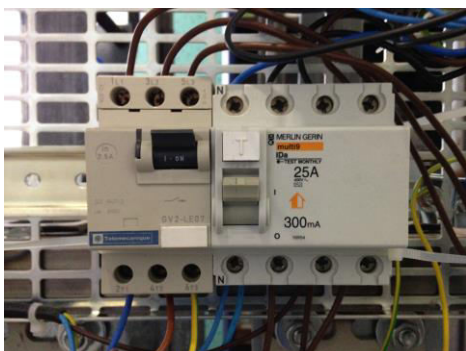


Figura 3.28 – Interruptor diferencial trifásico (direita) e disjuntor trifásico (esquerda)



Figura 3.29 – Disjuntores monofásicos: Transformador (esquerda); Fonte de Tensão de Alimentação (centro); PLC (direita).

Para além das protecções atrás referidas também existem o fusível de protecção do circuito do freio, fusível de protecção do módulo do PLC TSX DMZ 28 DR das saídas a relé e fusível de protecção dos circuitos correspondentes aos sensores de posição de cabina, fins de curso e botões.

Fonte de alimentação de tensão contínua

Alimenta com uma tensão contínua de +24 V CC os circuitos dos botões (B0, B1 e B2); fins de curso (FCI e FCS); sensores de posição de cabina (AF, AT, BF e BT). Também alimenta a +24 V CC a parte do módulo de entradas e saídas discretas do PLC correspondente às saídas digitais a relé deste (Figura 3.30).

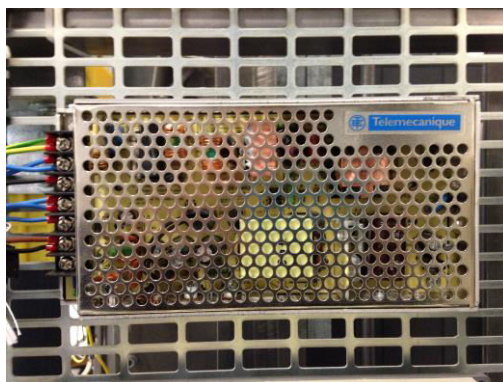


Figura 3.30 – Fonte de Tensão de Alimentação

Controlador Lógico Programável (PLC)

Conforme referido anteriormente e de acordo com a Figura 3.4, o PLC utilizado é o TSX Micro 3721 e é composto por dois módulos, sendo eles, o módulo TSX DMZ 28 DR e o módulo TSX AMZ 600. O primeiro é o módulo de entradas e saídas discretas e o segundo é o módulo de entradas e saídas analógicas.

É alimentado a 230 V CA pela rede eléctrica. Recebe o sinal digital em tensão de + 24 V CC correspondente a cada botão, sensor de segurança e sensor de posição de cabina através do módulo TSX DMZ 28 DR.

Através dos relés KM0, KM1, KF2 e KF3 inseridos no módulo TSX DMZ 28 DR, ou seja, das saídas digitais a relé deste módulo, aplica uma tensão de + 24 V CC aos terminais de cada bobina dos actuadores, isto é, do contactor de descida KM0, do contactor de subida KM1, do relé do freio electromecânico nº1, KF2, e do relé do freio electromecânico nº2, KF3.

Por intermédio do módulo TSX AMZ 600, envia um sinal analógico em tensão entre 0 e + 10 V CC para o variador de frequência correspondente à frequência (de referência) pretendida a aplicar ao motor eléctrico da máquina de tracção, que por sua vez corresponde à velocidade de viagem pretendida para a cabina. O envio deste sinal analógico em tensão do PLC para o variador de frequência é efectuado em degrau, no entanto, o variador controla a velocidade do motor eléctrico através de um perfil de velocidades em curva de aceleração e de desaceleração apesar de quase imperceptível para o ser humano.

Através do módulo TSX AMZ 600 recebe o sinal analógico em tensão entre 0 e + 10 V CC do variador de frequência correspondente à frequência instantânea aplicada ao motor eléctrico e estimada pelo variador.

Variador de Frequência (VF)

O variador de frequência a utilizar é o OMRON V1000 e ilustra-se na Figura 3.31. É alimentado a 400 V CA pela rede eléctrica. Com o fecho do contactor de descida KM0 e consequente fecho do contacto da sua entrada digital a transístor S1, dá a ordem de sentido de movimento directo que corresponde ao movimento de descida da cabina. Com o fecho do contactor de subida KM1 e consequente fecho do contacto da sua entrada digital a transístor S2, dá a ordem de sentido de movimento inverso que corresponde ao movimento de subida da cabina. Recebe o sinal analógico em tensão entre 0 e + 10 V CC do PLC que corresponde à frequência de referência pretendida a aplicar ao motor eléctrico da máquina de tracção, que por sua vez corresponde à velocidade de viagem pretendida para a cabina. Estima a frequência instantânea aplicada ao motor eléctrico que por sua vez envia ao PLC através de um sinal analógico em tensão entre 0 e + 10 V CC. Efectua o controlo escalar do motor eléctrico da máquina de tracção visando manter a relação V/f constante, 400 V CA/50 Hz.

Deve ter-se em consideração que a consola HMI do variador de frequência faz parte do circuito de comando, uma vez que, por intermédio desta, é possível o operador aceder a alguns dos dados em tempo real, alterar alguns dos parâmetros do variador e controlar o motor eléctrico da máquina de tracção localmente.

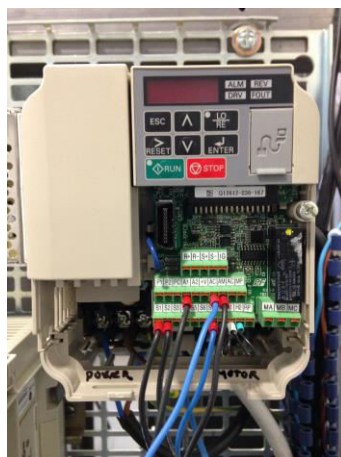


Figura 3.31 – Variador de Frequência OMRON V1000

Transformador

O seu primário é alimentado a 230 V CA pela rede eléctrica. Faz parte do circuito de alimentação da bobina de electroímã do freio electromecânico e baixa a amplitude da tensão alternada sinusoidal para o valor à entrada da ponte rectificadora (Figura 3.32).

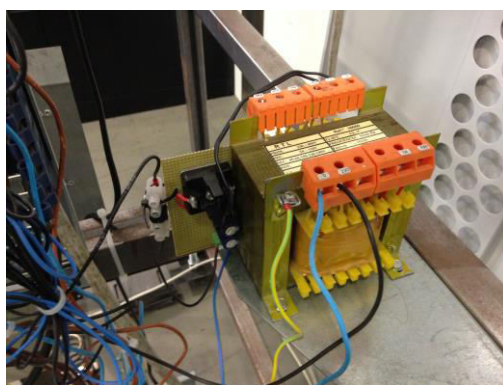


Figura 3.32 – Transformador (direita); Ponte Rectificadora (centro); Fusível Freio (esquerda).

Ponte rectificadora com condensador

Rectifica a tensão alternada sinusoidal em tensão contínua para a alimentação da bobina de electroímã do freio electromecânico (Figura 3.32).

Botoneira de reset e escolha de sequência (botões B0, B1 e B2)

Esta botoneira é constituída por três botões (Figura 3.33), sendo eles o botão B0 de rearme (reset) que permite reinicializar o automatismo quando da reposição da energia eléctrica ou após a actuação de uma segurança, o botão B1 que permite seleccionar o envio da cabina para o patamar P1, e o botão B2 que permite seleccionar o envio da cabina para o patamar P2. Cada botão é composto por um contacto NA. Esta botoneira situa-se no quadro eléctrico em zona de fácil acesso ao operador.



Figura 3.33 – Botoneira de reset e escolha de sequência

Botoneira de paragem de emergência (PE)

O dispositivo de paragem de emergência (Figura 3.34) promove a paragem imediata da máquina de tracção e situa-se no quadro eléctrico em zona de fácil acesso ao operador. O botão é composto por um contacto NF. Após a actuação da paragem de emergência só é possível a reposição em serviço do monta-cargas após o operador premir o botão de rearme (reset) B0.



Figura 3.34 – Botoneira de paragem de emergência

Fim de curso Inferior (FCI) e Fim de curso superior (FCS)

Os fins de curso de segurança promovem a paragem da máquina de tracção quando a cabina excede o seu curso normal de funcionamento (entre P0 e P2). Estão montados na guia direita do contrapeso e são accionados mecanicamente por este. O fim de curso inferior está colocado em cima e o fim de curso superior está colocado em baixo. A Figura 3.35 (a e b) ilustra o FCI e a Figura 3.23 ilustra o FCS.

Têm incorporado um contacto eléctrico NF que promove a paragem da máquina de tracção quando actuado. Optou-se por serem colocados do lado do contrapeso para aumentar a distância entre patamares de funcionamento da cabina. Deste modo, é possível efectuar as curvas de aceleração/desaceleração e ter uma velocidade nominal correspondente à velocidade máxima da cabina entre patamares.

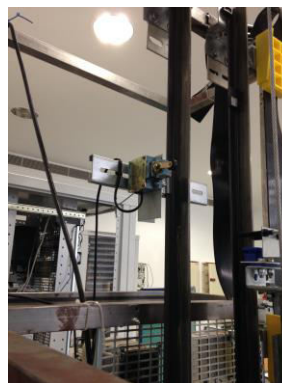
Estão regulados para actuar depois da cabina ultrapassar os patamares extremos (P0 ou P2) e antes da cabina ou o contrapeso atingir os respectivos amortecedores.

Com o fim de curso inferior ou superior actuado, deve-se manter a acção do mesmo sobre a máquina de tracção independentemente dos amortecedores da cabina ou contrapeso estarem comprimidos.

Após a actuação do fim de curso inferior ou superior só é possível a reposição em serviço do monta-cargas após o operador premir o botão de rearme (reset) B0.



(a)



(b)

Figura 3.35 – Fim de Curso Inferior

Sensores de posição da cabina (AF, AT, BF e BT) e respectivos ímans

A detecção de paragens e mudança de velocidade é efectuada através de interruptores magnéticos do tipo *reed switch*. Estão preparados para suportar tensões até 110 V CC ou 250 V CA, no entanto neste elevador funcionam com tensão de + 24 V CC.

Os quatro sensores de indicação de posição da cabina ilustrados na Figura 3.36 estão montados no topo da arcada da cabina e são do tipo interruptor magnético de proximidade “*reed-switch*” cujo contacto abre ou fecha quando passa frente a um íman por influencia do campo magnético. Deste modo, pode dizer-se que são de actuação magnética. Como o contacto encontra-se selado a vácuo dentro de uma ampola de vidro, têm a designação na gíria de “*ampola*”. Uma vez que não possuem auto-alimentação (sensores passivos), estão conectados à fonte de tensão de alimentação. A Figura 3.39 ilustra a disposição dos ímans ao longo das guias.

O sensor AF foi designado de ampola da frente e o sensor AT de ampola de trás. Estão montados do lado esquerdo da cabina (tomando como referência o operador frente a esta). O sensor AF está colocado à frente e o sensor AT atrás. Cada um destes dois sensores possui um contacto NA que fecha quando passa frente ao respectivo íman enviando o sinal de posição da cabina ao PLC, e abre fora dele. Daí serem sensores monoestáveis.

Quando os sensores AF e AT são actuados simultaneamente pelo efeito do campo magnético dos ímans mais compridos, significa que a cabina se encontra ao nível do patamar P0, P1 ou P2, na condição de estar parada ou imediatamente a chegar ou a partir à velocidade lenta.

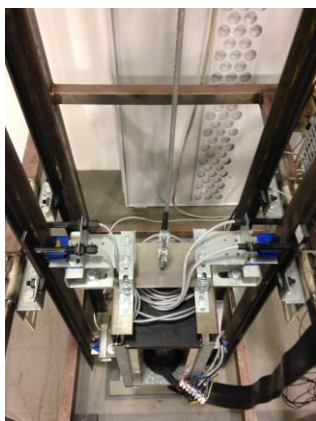


Figura 3.36 – Sensores AF e AT (esquerda); BF e BT (direita).

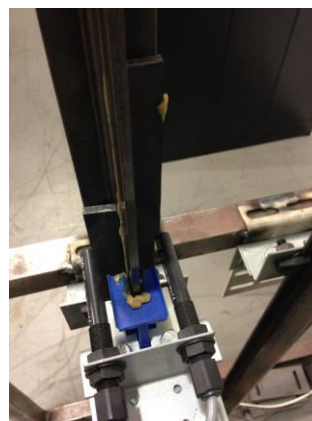


Figura 3.37 – Sensores AF e AT e respectivos ímans

O sensor AT quando do movimento de subida da cabina, também serve para a mudança da velocidade lenta para a velocidade rápida quando a cabina sai do patamar em que se encontrava (parada) através da detecção de informação de “flanco descendente” pelo PLC. De igual modo, quando do movimento de subida, também serve para mudar da velocidade rápida para a velocidade lenta antes da chegada da cabina ao patamar de destino.

O sensor AF quando do movimento de descida da cabina, também serve para a mudança da velocidade lenta para a velocidade rápida quando a cabina sai do patamar em que se encontrava (parada) através da detecção de informação de “flanco descendente” pelo PLC. De igual modo, quando do movimento de descida, também serve para mudar da velocidade rápida para a velocidade lenta antes da chegada cabina ao patamar de destino.

Os sensores BF e BT ilustrados na Figura 3.38 são biestáveis com efeito de “memória” e a cada sensor corresponde um íman bipolar (com dois pólos, um norte e um sul).



Figura 3.38 – Sensor BF e respectivos ímans e sensor BT

O sensor BF foi designado de biestável da frente e o sensor BT biestável de trás. Estão montados do lado direito da cabina (tomando como referência o operador frente a esta). O sensor BF está colocado à frente e o sensor BT atrás.

Com o contacto do sensor BF aberto, não passa corrente eléctrica através deste e, o controlador lógico programável recebe a informação que a cabina está no patamar P0 ou abaixo deste e só pode ter movimento de subida.

Com o contacto do sensor BT aberto, não passa corrente eléctrica através deste e, o controlador lógico programável recebe a informação que a cabina está no patamar P2 ou acima deste e que só pode ter movimento de descida.

Quando ambos os contactos dos sensores BF e BT estão fechados, significa que passa corrente eléctrica em cada um deles e a cabina está entre os patamares P0 e P2.

Resumidamente, os sensores BF e BT informam se a cabina se encontra no patamar P0 ou abaixo deste, se a cabina se encontra entre os patamares P0 e P2, ou se a cabina se encontra no patamar P2 ou acima deste.

Os pormenores inerentes aos testes realizados a estes sensores de indicação de posição da cabina para a sua montagem na instalação eléctrica são detalhados na subsecção 4.2.

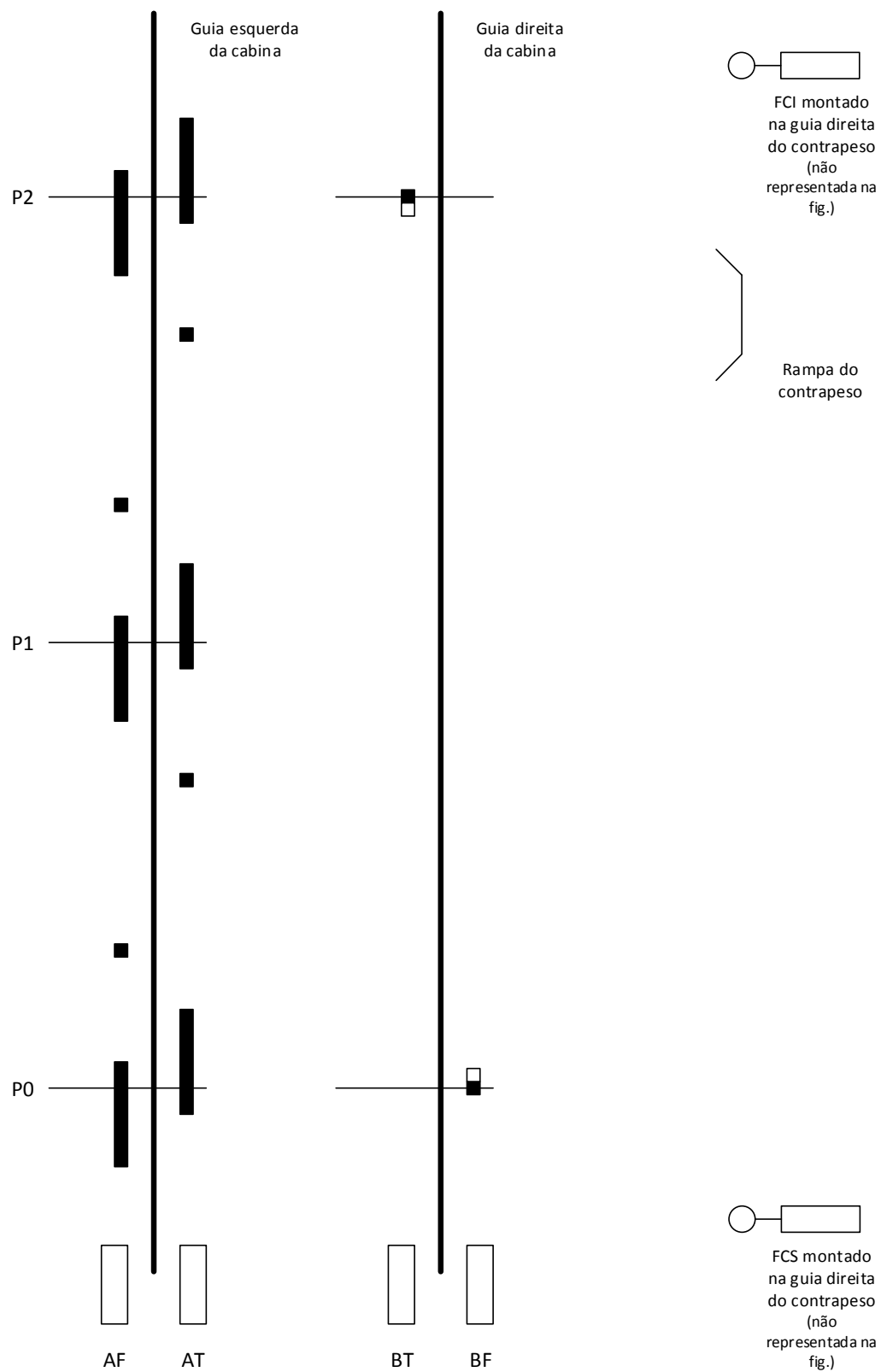


Figura 3.39 – Sensores e disposição do ímans ao longo das guias

Contactor de descida (KM0)

O contactor de descida ilustra-se na Figura 3.40. A bobina deste contactor é alimentada a uma tensão de + 24 V CC quando do fecho do contacto NA do relé KM0 do módulo TSX DMZ 28 DR do PLC. O fecho de KM0 provoca o fecho do contacto da entrada digital a transístor S1 no variador de frequência, dando a ordem de sentido de movimento directo que corresponde ao movimento de descida da cabina.

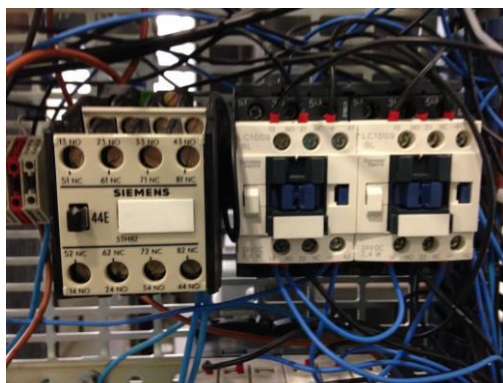


Figura 3.40 – Relé auxiliar (esquerda); contactor descida (centro); contactor subida (direita).

Contactor de subida (KM1)

O contactor de subida ilustra-se na Figura 3.40. A bobina deste contactor é alimentada a uma tensão de + 24 V CC quando do fecho do contacto NA do relé KM1 do módulo TSX DMZ 28 DR do PLC. O fecho de KM1 provoca o fecho do contacto da entrada digital a transístor S2 no variador de frequência, dando a ordem de sentido de movimento inverso que corresponde ao movimento de subida da cabina.

É importante salientar que existe encravamento mecânico e encravamento eléctrico entre os contactores de descida KM0 e de subida KM1.

Relé do freio electromecânico nº1 (KF2)

A bobina deste relé é alimentada a uma tensão de + 24 V CC quando do fecho do contacto NA do relé KF2 do módulo TSX DMZ 28 DR do PLC. Este relé faz parte do circuito de alimentação do freio electromecânico (Figura 3.41).

Relé do freio electromecânico nº 2 (KF3)

A bobina deste relé é alimentada a uma tensão de + 24 V CC quando do fecho do contacto NA do relé KF3 do módulo TSX DMZ 28 DR do PLC. Este relé faz parte do circuito de alimentação do freio electromecânico e os seus contactos estão em série com os do relé KF2 no circuito de alimentação do freio (Figura 3.41).

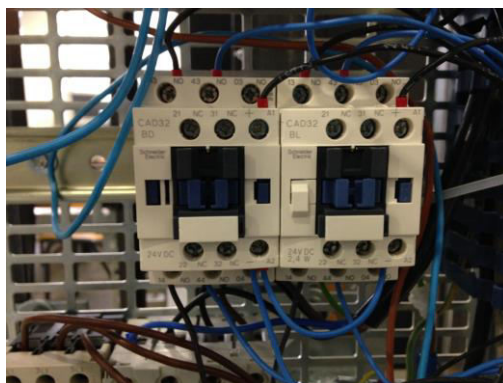


Figura 3.41 – Relés do freio electromecânico

O motivo que condicionou a escolha de dois relés para alimentação do freio electromecânico foi que como medida de segurança e à semelhança do que acontece nos elevadores reais, optou-se pela utilização de dois relés de alimentação da bobina do electroíman do freio electromecânico, cada um, com alimentação independente pelo PLC, e com os contactos de alimentação do freio em série. Isto permite que no caso de um relé do freio ficar colado (do módulo TSX 28 DMZ DR ou do quadro eléctrico), o outro relé corte a alimentação ao freio e este frenar a máquina de tracção e abrandar o movimento da cabina ou pará-la.

Relé auxiliar

A bobina do relé auxiliar está montada em paralelo com a bobina do freio e serve apenas para indicar quando a bobina deste último está alimentada e a máquina de tracção destravada e «livre» para rodar (Figura 3.40).

Díodo de Roda Livre

Como a bobina do freio é alimentada por corrente contínua, torna-se necessário a introdução de um díodo de roda livre para descarregar a corrente eléctrica pela bobina quando da abertura dos contactos de alimentação dos relés do freio KF2 e KF3 (circuito eléctrico) e evitar a destruição dos mesmos. Situa-se na régua de bornes do lado direito (Figura 3.42).

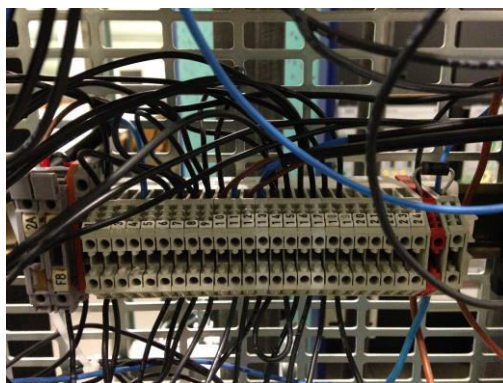


Figura 3.42 – Fusíveis (esquerda); Régua de Bornes (direita).

3.4.2 Esquemas de Circuitos Eléctricos/Interoperabilidade

Esta subsecção visa a descrição dos diferentes circuitos eléctricos indicando a respectiva função, assim como, a interoperabilidade entre componentes e circuitos.

Para o quadro eléctrico ilustrado na Figura 3.43, teve-se em conta a disposição dos componentes de modo a ser mais intuitivo e prático do ponto de vista a facilitar a utilização por parte do operador e de quem faz a manutenção.

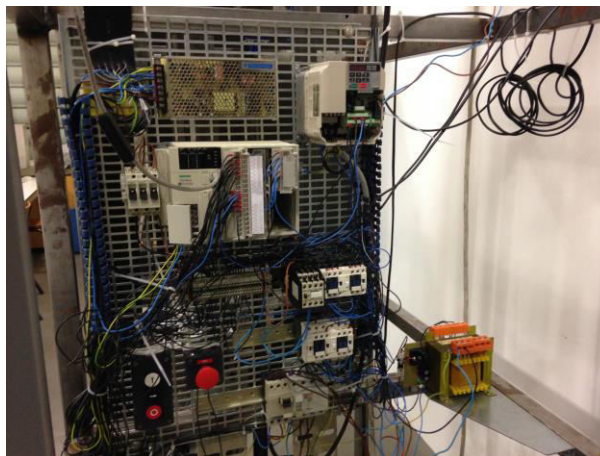


Figura 3.43 – Quadro eléctrico (fase de testes)

A lista de componentes e os esquemas dos circuitos eléctricos do protótipo de elevador monta-cargas estão representados no Apêndice F.

Os esquemas dos circuitos eléctricos são compostos por 5 folhas cuja função se descreve a seguir.

A folha nº 1 (NTA_MC3_01) ilustra a disposição dos componentes no quadro eléctrico montado na estrutura metálica autoportante de suporte.

A folha nº 2 (NTA_MC3_02) mostra a alimentação da rede, as protecções trifásicas, o circuito de potência de alimentação do variador de frequência e respectivo bloco correspondente à electrónica de potência, a alimentação do motor assíncrono trifásico da máquina de tracção, as protecções dos circuitos a montante e a jusante do transformador, a protecção do circuito de alimentação da fonte de tensão de alimentação, a protecção do circuito de alimentação do PLC, todo o circuito de potência inerente ao freio electromecânico da máquina de tracção e parte do circuito de comando deste.

A folha nº 3 (NTA_MC3_03) mostra parte do circuito de alimentação da fonte de tensão de alimentação de todos os circuitos de + 24 V CC, mostra o circuito de comando destacando-se a alimentação do controlador lógico programável PLC, o seu módulo de entradas e saídas digitais, o seu módulo de entradas e saídas analógicas, o módulo de controlo do variador de frequência, o circuito de comando dos contactores de sentido de movimento de descida e de subida pelo PLC e consequentemente, ao módulo de controlo do variador de frequência (sentido de movimento do motor pelo variador).

A folha nº 4 (NTA_MC3_04) ilustra as ligações à régua de bornes, as protecções dos circuitos de + 24 V CC, circuito dos botões, circuito de segurança, circuito dos sensores de posição da cabina, alimentação do relé auxiliar de indicação da bobina de electroímã do freio electromecânico alimentada.

A folha nº 5 (NTA_MC3_05) mostra as ligações do cabo flexível à 1ª e 2ª caixa de ligação da cabina, os circuitos dos sensores de posição de cabina, e a alimentação de cada sensor de posição de cabina com esta entre pisos.

Após uma breve descrição do conteúdo de cada folha de desenho inerente aos circuitos eléctricos, convém referir que a instalação eléctrica do elevador é alimentada pela rede eléctrica do edifício a 400 V CA, o **motor eléctrico da máquina de tracção** é um motor assíncrono trifásico de rotor em gaiola de esquilo de 400 V CA e que cada enrolamento tem uma resistência de 5 Ω , a bobina do electroímã do **freio (travão) electromecânico** é alimentada a + 96 V CC e tem uma resistência de 269 Ω . A **fonte de alimentação de tensão contínua** é alimentada a 230 V CA pela rede eléctrica.

Convém fazer-se referência aos aspectos a ter em consideração em relação à secção dos condutores. Deste modo, todos os fios condutores são do tipo multifilar e a secção dos mesmos é a seguinte:

Circuito de potência 400 V AC – 2,5 mm²

Circuito do Freio + 96 V DC – 1,5 mm²

Circuito de alimentação Transformador primário 230 V CA – 1,5 mm²

Circuito de alimentação da Fonte de Tensão de Alimentação 230 V CA – 1,5 mm²

Circuito de alimentação Controlador Lógico Programável 230 V CA – 1,5 mm²

Circuitos de comando inerentes aos Botões, Segurança e Sensores + 24 V CC – 0,75 mm²

Um aspecto importante a ter em conta na ligação dos sensores de posição da cabina *reed switch* ao controlador lógico programável é a obrigatoriedade de utilizar fios condutores com secção igual, neste caso condutores de secção 0,75 mm², que é a secção mínima permitida pela legislação portuguesa, para permitir que todos os sinais eléctricos cheguem ao PLC ao mesmo tempo e não haver atrasos na leitura dos mesmos. Pelo mesmo motivo, o mesmo aplica-se aos circuitos dos botões, sensores de segurança e aos restantes circuitos de comando/controlo.

3.4.3 Configuração do *Software* de Programação PL7 Junior

Como referido na secção 3.1, em virtude do controlador lógico programável utilizado ser o TSX Micro 3721 v5.0 e este possuir o *software* de programação PL7 Junior que permite a programação nas três linguagens de programação utilizadas, utilizou-se este *software* para a implementação das mesmas. Deste modo, o código implementado foi elaborado na linguagem de programação em Texto Estruturado (ST) e os diagramas implementados foram elaborados em Diagrama Funcional em

Sequência/Lista de Instruções (SFC/IL) que são a implementação prática do Grafcet segundo a norma IEC 61131-3.

Foi utilizada programação concorrente a qual permite a realização de diferentes tarefas nas três linguagens diferentes utilizadas com vista à optimização do código a nível global e um melhor desempenho do automatismo (Luís Palma, 2014a). Os diagramas elaborados em Diagrama Funcional Sequencial (SFC) foram utilizados para envio de sinais digitais para os actuadores (KM0, KM1, KF2 e KF3) e o texto estruturado (ST) para envio de sinais analógicos do controlador lógico programável para o variador de frequência e recepção de sinais analógicos de monitorização deste último para o controlador lógico programável.

Após construção mecânica do protótipo e implementação da respectiva instalação eléctrica, tornou-se necessário elaborar uma lista de procedimentos necessários ao desenvolvimento da aplicação de *software* do programa para o controlador lógico programável. Deste modo, os procedimentos necessários para o desenvolvimento da aplicação do programa para o PLC são (Luís Palma, 2014f):

1. Criação da aplicação (programa);
2. Definição da estrutura do programa;
3. Configuração do PLC e dos seus módulos;
4. Especificação de variáveis e símbolos;
5. Programação;
6. Comunicação com o PLC.

Para a **criação da aplicação (de programa)** é necessário efectuarem-se os seguintes procedimentos (etapas):

1. Executar o *software* PL7 Micro V4.2;
2. Seleccionar-se “File” e de seguida “New”;
3. Em “Processors” seleccionar-se “TSX 3721 V5.0”;
4. Em “Grafcet” seleccionar-se a opção “Yes” uma vez que se pretende programar utilizando a linguagem de programação SFC que corresponde à implementação prática do Grafcet.
5. Clicar em “Ok” e aparece o “Application Browser”. Na pasta “Program” encontra-se a pasta “MAST Task”, nesta a pasta “Sections” e por sua vez nesta, a pasta “SectionGR7”. Nesta última, podem-se ver as secções “Prl” correspondente ao tratamento preliminar, “Chart” correspondente ao processamento sequencial (diagrama de SFC) e “Post” correspondente ao tratamento posterior.

Na Figura 3.44 observa-se a selecção do PLC TSX Micro 3721 v5.0 e do SFC (Grafcet).

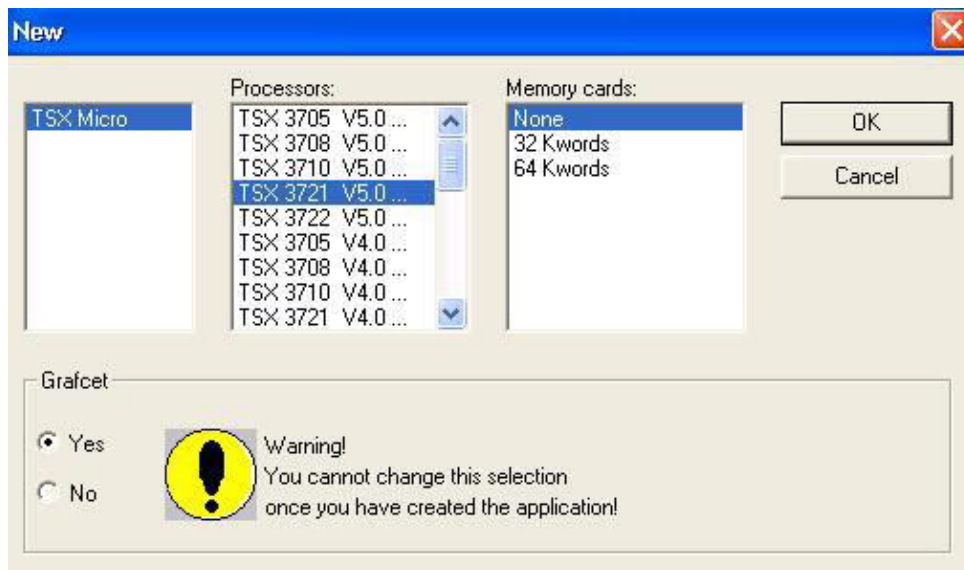


Figura 3.44 – Selecção do PLC TSX Micro 3721 v5.0 e do Grafcet

A **estrutura do programa** em PL7 é constituída por secções e subrotinas onde cada secção pode ser programada numa linguagem mais apropriada tal como LD, IL, ST e SFC (Grafcet). Como anteriormente mencionado, na mesma aplicação podem ser utilizadas mais do que uma forma de linguagem de programação consoante a tarefa pretendida com vista a otimizar o código a nível global e o desempenho do automatismo. A divisão em secções permite a criação de um programa estruturado e a adição posterior de módulos de programa, como por exemplo, a utilização de temporizadores. Como mencionado anteriormente, no caso do projecto de automatização do elevador monta-cargas utilizaram-se apenas três tipos de linguagem sendo elas o texto estruturado (ST) e a linguagem de diagrama funcional sequencial (SFC) juntamente com a linguagem de lista de instruções (IL) utilizada para programar as transições do SFC.

No caso da aplicação de programa do automatismo do elevador monta-cargas em causa, foi necessário criar uma secção correspondente ao código em texto estruturado ST. Deste modo, efectuaram-se os seguintes procedimentos:

1. Com a pasta “Sections” seleccionada, seleccionou-se a opção “Edit”;
2. Na opção “Edit” seleccionou-se a opção “Create”. Aparece o menu “Create” com o menu “Section” e “Language” ST de texto estruturado. Escreveu-se o nome que se pretendeu dar à secção de código em ST e finalmente clicou-se em “Aplicar” e ficou criada a secção correspondente ao texto estruturado na pasta “Sections”;
3. Para finalizar, como não se pretende criar mais secções, clica-se na opção “Cancelar” no menu “Create” e este desaparece.

Na Figura 3.45 observa-se a estrutura de programa do automatismo implementada no PLC TSX Micro 3721 do protótipo de elevador monta-cargas e as respectivas secções de programa em SFC/IL correspondente ao SFC (Grafcet) e em Texto Estruturado ST. Nela é possível ver que o tratamento preliminar Prl foi implementado em linguagem de lista de instruções IL, assim como, o tratamento posterior Post. A secção Chart corresponde aos diagramas de SFC (Grafcet) e é denominada de G7.

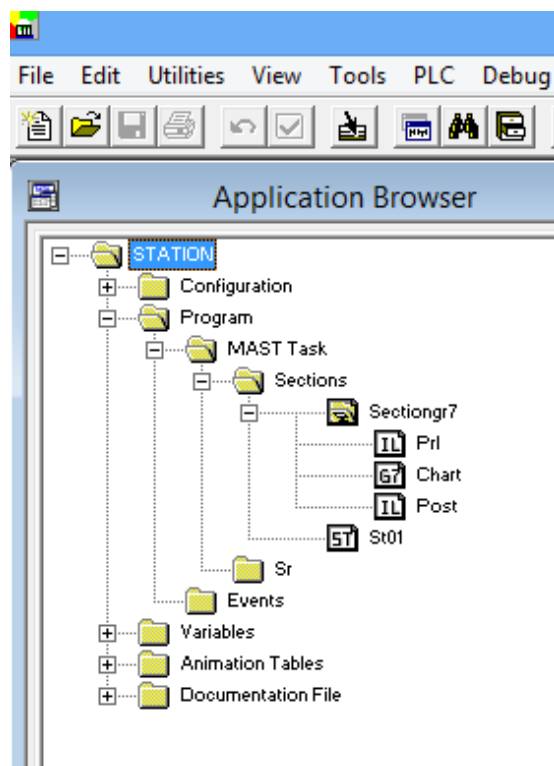


Figura 3.45 – Estrutura do programa em PL7 do PLC TSX Micro 3721 do protótipo de elevador monta-cargas

A Configuração do PLC é realizada no menu “*Application Browser*” em “*Configuration*”. Deste modo, efectuam-se os seguintes procedimentos:

1. No menu “*Application Browser*” selecciona-se a pasta “*Configuration*”;
2. Na pasta “*Configuration*” selecciona-se “*Hardware Configuration*” para definir os módulos que se pretendem instalar e a respectiva posição no PLC;
3. Com o cursor na posição “1” clica-se no botão do lado direito do rato e selecciona-se a opção “*Add Module*”;
4. Na opção “*Family*” selecciona-se a opção “*Discrete*” e nesta o módulo de entradas/saídas discretas “*TSX DMZ 28DR*”, clicando-se em “*Ok*” de seguida, aparecendo a amarelo o módulo pretendido;
5. Com o cursor na posição “5” e efectuando as mesmas operações, na opção “*Family*” selecciona-se a opção “*Analog Modules*” e nesta o módulo de entradas/saídas analógicas “*TSX AMZ 600*” aparecendo a amarelo este módulo pretendido.

No menu “Configuration”, para a configuração dos parâmetros do programa, que por “*defeito*” não se devem alterar, utiliza-se a opção “*Software Configuration*”, enquanto que para a configuração dos parâmetros do SFC (Grafcet) que por “*defeito*” também não se devem alterar, utiliza-se a opção “*Configure Grafcet Objects*”.

A Figura 3.46 mostra a configuração em *hardware* do módulo de entradas/saídas discretas e do módulo de entradas/saídas analógicas.

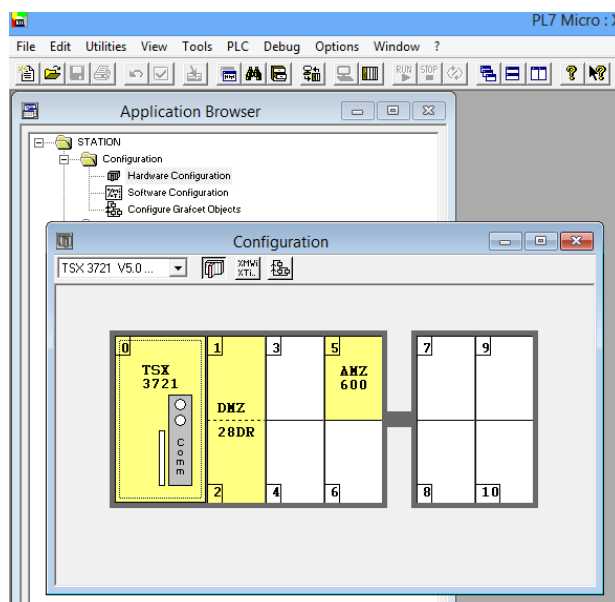


Figura 3.46 – Configuração dos módulos de hardware em PL7

A **especificação de variáveis e símbolos** é definida no editor de variáveis que permite definir as variáveis internas e símbolos a serem acedidos pelo programa. Para além disto, o editor de variáveis também permite a parametrização de blocos funcionais, tais como, contadores, temporizadores, registos, etc..

Para se aceder ao editor de variáveis e símbolos selecciona-se “*Application Browser*” / “*STATION*” / “*Variables*” e escolhe-se o tipo de variável: objectos de memória, objectos de sistema, constantes, objectos de Grafcet, blocos de funções pré-definidos e entradas/saídas (I/O).

Como referido, a **programação** da aplicação para o projecto de automatização do elevador montacargas em causa, foi efectuada utilizando-se três tipos de linguagem, sendo elas, o texto estruturado (ST) e a linguagem de diagrama funcional sequencial (SFC) juntamente com a linguagem de lista de instruções (IL) utilizada para programar as transições do SFC. A linguagem em SFC é a implementação do Grafcet segundo a norma IEC 61131-3.

O *software* utilizado na programação do TSX Micro 3721 foi o PL7 Micro V4.2.

A **comunicação com o PLC** pode ser efectuada do PC para o PLC ou do PLC para o PC, por intermédio do cabo de comunicação série, ligado ao terminal TER, para transferência do programa.

Para se trabalhar no modo “*On Line*” é necessário efectuar a ligação ao PLC seleccionando-se na tabela de menus o comando “*PLC / Connect*”, sendo então possível enviar os comandos “*Initialize*”, “*Run*” ou “*Stop*” para o PLC.

3.4.4 Especificação dos Códigos SFC/IL e ST implementados

O sistema de automatização de protótipo de elevador de monta-cargas industrial utilizado para testes e simulações, requer a utilização de programas concorrentes conforme mencionado na secção 3.1. e a atribuição de endereços de entrada e de saída.

A troca de dados entre os programas concorrentes em ST e SFC/IL foi realizada por intermédio de variáveis do tipo memória binária ou booleana %Mx, memória do tipo “*Word*” (“*palavra*”) %MWy, e etapas dos diagramas de SFC %Xz. Para além de se utilizar o código em texto estruturado ST para efectuar a gestão das memórias internas do PLC através da sua leitura, activação e/ou desactivação e alteração do seu valor, também foi utilizado para ler e aceder ao valor das variáveis correspondentes aos botões, sensores e do temporizador “TP” do PLC de tempo disponível para a selecção da sequência de funcionamento. Do mesmo modo, utilizou-se o código ST para enviar o sinal analógico em tensão correspondente à frequência de referência pretendida para o variador de frequência e caso necessário, para receber deste o sinal analógico em tensão correspondente à frequência instantânea estimada pelo variador de frequência do motor assíncrono trifásico da máquina de tracção.

Exposto o supracitado, tornou-se imperativo definir as variáveis a utilizar no código de texto estruturado ST utilizado em consonância com os diagramas de SFC/IL. Deste modo, para além da Tabela 3.1 de endereços de ligação de entradas/saídas do PLC TSX Micro 3721 que define as variáveis de entrada e saída a utilizar, a tabela do Apêndice A ilustra as memórias utilizadas do tipo binária, palavra interna, palavra de sistema e temporizador de pulso, enquanto a tabela do Apêndice B mostra a interacção entre todas as variáveis, isto é, como se relacionam umas com as outras.

Como referido na subsecção 3.3.8, a secção dos diagramas de SFC/IL é feita de três processos consecutivos sendo eles o tratamento preliminar, o processamento sequencial e o tratamento posterior, conforme ilustrado na Figura 3.47.

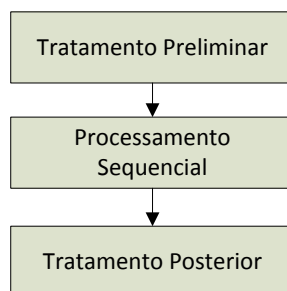


Figura 3.47 – Ordem conforme os processos são efectuados (Schneider Electric, 1997)

No início, quando são alimentados todos os circuitos eléctricos inerentes ao automatismo e processo pela rede eléctrica de energia, e uma vez utilizada programação concorrente, o PLC TSX Micro 3721 começa a correr o texto estruturado ST e a secção respeitante aos diagramas de SFC/IL simultaneamente.

Uma vez que a ordem de processos inerentes aos diagramas de SFC/IL “*varre*” em primeiro lugar o tratamento preliminar, de seguida descrever-se-á este.

Conforme referido em 3.3.8 o **tratamento preliminar** é guardado sempre em memória e é lido antes do processamento sequencial e do tratamento posterior. Para se programar o tratamento preliminar utilizou-se a linguagem em Lista de Instruções, IL.

Do código respeitante ao tratamento preliminar ilustrado na Listagem 3.1 (vide Tabela 3.1 de Endereços de Ligação de Entradas/Saídas do PLC), fazem parte os bits de sistema %S13, %S21, %S22 e %S9 representados nas linhas 1, 6, 7, 12 e 15 respectivamente, os endereços respeitantes às seguranças do sistema de elevação de protótipo de monta-cargas %I1.3 (linhas 2, 8 e 14), %I1.4 (4 e 10) e %I1.5 (linhas 3 e 9) respectivamente PE, FCS e FCI, a memória do tipo *word* (palavra de sistema) %MW58 (linhas 5 e 11) e o botão B0 de “*reset*” cujo endereço é %I1.0 (linha 13).

Linha	Código
1	LD %S13
2	ORF %I1.3
3	ORF %I1.5
4	ORF %I1.4
5	OR [%MW58=16#0004]
6	ST %S21
7	ST %S22
8	LDF %I1.3
9	ORF %I1.5
10	ORF %I1.4
11	OR [%MW58=16#0004]
12	S %S9
13	LDR %I1.0
14	AND %I1.3
15	R %S9

Listagem 3.1 – Tratamento Preliminar

O bit de sistema %S13 tem como função detectar o primeiro ciclo de execução do PLC (arranque “RUN”). O bit de sistema %S21 tem como funções desactivar as etapas activas e activar as etapas iniciais inicializando os diagramas de SFC. O bit de sistema %S22 causa a desactivação das etapas activas em todo o processamento sequencial e efectua a reposição (*reset*) de todos os diagramas de SFC a zero. O bit de sistema %S9 põe a zero as saídas.

Conforme o código referente ao tratamento preliminar, após a detecção do arranque “RUN” do PLC, caso seja actuada uma segurança como é o caso da paragem de emergência PE, fim-de-curso superior FCS ou fim-de-curso inferior FCI, que corresponde respectivamente aos endereços %I1.3, %I1.4 e %I1.5 ou quando há uma falha de energia eléctrica da rede detectada pela alteração dos bits da palavra de sistema %SW58 conforme listagem 3.2, através do bit de sistema %S21 são inicializados os diagramas de SFC e através do bit de sistema %S22 é efectuada a reposição (*reset*) de todos os diagramas de SFC a zero.

Convém referir que a memória %MW58 depende da palavra de sistema %SW58 (listagem 3.2) e corresponde ao byte menos significativo de %SW58.

Do mesmo modo, quando é actuada uma segurança ou há uma falha de energia eléctrica da rede, as saídas são postas a zero (desactivadas) através do bit de sistema %S9 e não é permitida a evolução dos diagramas de SFC. Isto significa, que quando é actuada uma segurança por parte do operador/utilizador ou pela rampa do contrapeso, ou quando há uma falha de energia eléctrica da rede que alimenta o PLC, no momento após a actuação dessa segurança ou ocorrência da falha de energia eléctrica da rede, a máquina de tracção do protótipo de elevador monta-cargas pára e consequentemente a cabina e o contrapeso.

A reposição (*reset*) do bit de sistema %S9 e consequente reinicialização dos diagramas de SFC, é efectuada por intermédio do premir do botão B0 que corresponde ao endereço %I1.0 com a paragem de emergência desactivada pelo operador/utilizador.

A representação dos diagramas de SFC/IL que são utilizados para representar a operação do sistema automático sequencial do protótipo de elevador monta-cargas em causa numa forma gráfica e estruturada é efectuada no **processamento sequencial**, o qual, é utilizado para processar a estrutura da aplicação e dá acesso às condições de transição e acções directamente associadas com as etapas (Schneider Electric, 1997). Convém lembrar que a linguagem SFC está em conformidade com a linguagem de Grafset e que o processamento sequencial é executado após o tratamento preliminar e antes do tratamento posterior. Convém igualmente referir que os peritos da área de automação costumam utilizar os termos Grafset ou SFC para se referirem a estes diagramas. Deste modo, durante esta tese utiliza-se alternativamente Grafset ou SFC. Para simplificar e facilitar a descrição algo exaustiva dos diagramas de SFC no processamento sequencial, foi tomada como referência os diagramas de Grafset ilustrados na Figura 3.16 e Figura 3.17 da subsecção 3.3.9.

Conforme referido anteriormente, o PLC TSX Micro 3721 permite a execução de programas concorrentes, sendo a troca de dados entre as aplicações de programas ST e SFC/IL realizada através das variáveis internas do tipo %Mx, %MWy, %Xz, e das variáveis discriminadas na Tabela 3.1 com excepção das variáveis dos sinais analógicos que são estritamente utilizadas no texto estruturado ST.

Dos diagramas em linguagem SFC/IL ilustrados no Apêndice C fazem parte três diagramas, sendo eles o diagrama Principal, o diagrama da Sequência de Funcionamento 1 e o diagrama da Sequência de Funcionamento 2. Estes diagramas são semelhantes aos diagramas de Grafcet descritos em 3.3.9 diferindo destes, apenas, por se programarem as transições nos endereços das variáveis e a actualização das saídas digitais efectuar-se no tratamento posterior. Estes diagramas serão descritos adiante.

Diagrama Principal em SFC/IL

Do código referente ao Diagrama Principal fazem parte o endereço respeitante ao botão de reposição (*reset*) B0 que corresponde ao endereço %I1.0, ampola da frente AF, ampola de trás AT, biestável da frente BF e biestável de trás BT, ilustrados na Figura 3.48, que correspondem respectivamente aos endereços %I1.6, %I1.7, %I1.8 e %I1.9, fim-de-curso inferior FCI que corresponde ao endereço %I1.5 e temporização de 4 segundos iniciada na etapa 2 que corresponde a t/2/4s (Figura 3.50), memória %MW5 de incremento/decremento do patamar em que a cabina se encontra.

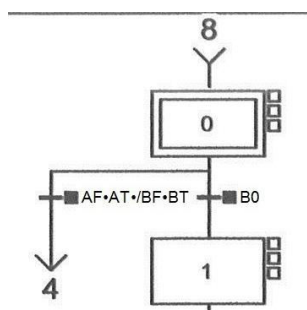


Figura 3.48 – Reposição (reset) ou cabina no patamar P0

Caso a cabina se encontre fora do patamar P0, conforme ilustrado na Figura 3.49, o que corresponde à receptividade /AF+/AT+BF+/BT verdadeira, ela pode estar na zona do fim de curso inferior que corresponde a /FCI, ou fora deste que corresponde a FCI (Figura 3.50). Em ambos os casos é necessário premir o botão B0 para permitir a evolução do diagrama de SFC/IL.

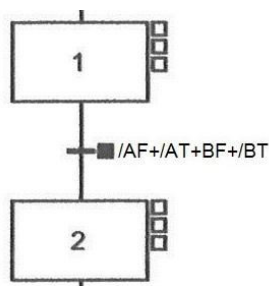


Figura 3.49 – Cabina fora do patamar P0

Quando a cabina se encontra no fim de curso inferior ou fora deste, conforme ilustrado na Figura 3.50, após premir-se o botão B0, esta espera 4 segundos para dar tempo ao utilizador para se afastar do acesso da cabina, condição essa dada por $/FCI \cdot t/2/4s$ ou $FCI \cdot t/2/4s$. Se está no fim de curso inferior, a cabina só pode subir (KM1, KF2 e KF3 energizados) e se está fora deste só pode descer (KM0, KF2 e KF3 energizados). Caso a cabina chegue ao patamar P0 e desça até ao fim de curso inferior que corresponde à receptividade $/FCI$ verdadeira, a cabina volta a subir.

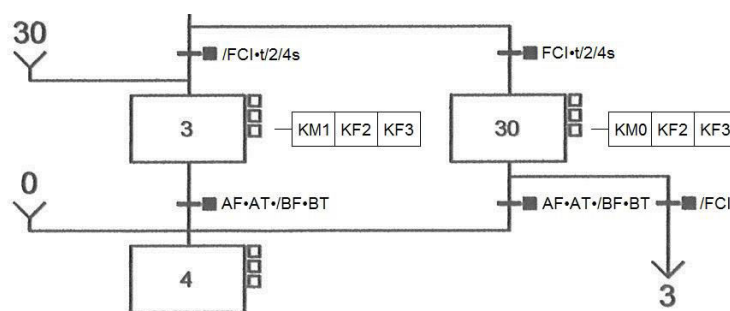


Figura 3.50 – Cabina no FCI ou fora deste; temporização de 4 segundos; cabina em P0.

Conforme ilustrado na Figura 3.50, quando a cabina se encontra no patamar P0 (receptividade $AF \cdot AT \cdot /BF \cdot BT$ verdadeira), o diagrama de SFC/IL evolui directamente para a etapa 4 após a receptividade B0 ser verdadeira, o que corresponde a premir-se o botão B0 e a memória do tipo palavra MW5 é colocada a “zero” ($MW5 = 0$) conforme exposto na Figura 3.51.

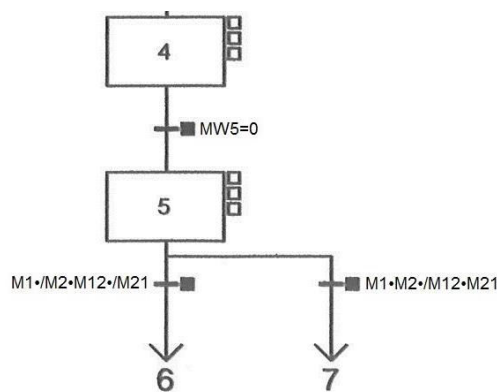


Figura 3.51 – Memória MW5 e memorização da sequência de funcionamento

A transição $M1 \cdot /M2 \cdot M12 \cdot /M21$ corresponde à memorização da sequência de funcionamento 1, sendo para tal necessário premir o botão B1 (Figura 3.51).

A transição $M1 \cdot M2 \cdot /M12 \cdot M21$ corresponde à memorização da sequência de funcionamento 2, sendo para tal necessário premir os botões B2 e de seguida B1 (Figura 3.51).

Após e consoante a escolha da sequência pretendida, quando a etapa 6 do grafo principal (Diagrama Principal) estiver activa e a receptividade X52 for verdadeira (Figura 3.52), desbloqueia a evolução da etapa 6 para a etapa 8. O mesmo acontece quando a etapa 7 do grafo principal estiver activa e a receptividade X77 for verdadeira.

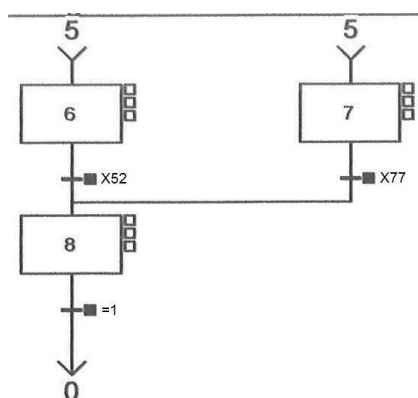


Figura 3.52 – Evolução da etapa 6 ou 7 para a etapa 8 do Diagrama Principal

Diagrama da Sequência de Funcionamento 1 em SFC/IL

Este diagrama representa a sequência de funcionamento 1, em que a cabina se encontra no patamar P0, parte para o patamar P1, espera 4 segundos e volta ao patamar P0.

Quando a etapa 6 do Diagrama Principal em SFC/IL está activa e finda a temporização de 4 segundos de espera que corresponde à receptividade $X6 \cdot t/6/4s$ verdadeira (Figura 3.53), com a cabina no patamar P0 que corresponde à receptividade $AF \cdot AT \cdot /BF \cdot BT$ verdadeira, a cabina arranca em velocidade lenta v1 do patamar P0 para P1 após a memória tipo palavra (word) $MW5 = 0$ (Figura 3.54).

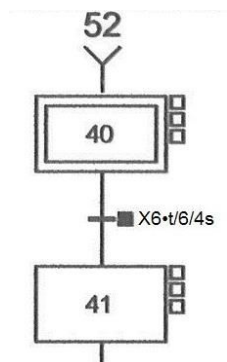


Figura 3.53 – Transposição do grafo do diagrama Principal para o grafo do diagrama da Sequência de Funcionamento 1

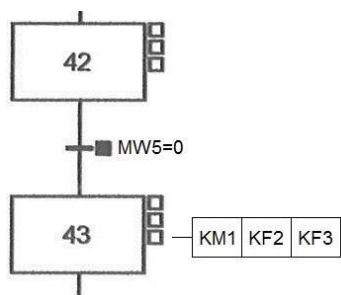


Figura 3.54 – Memória MW5 e cabina no patamar P0

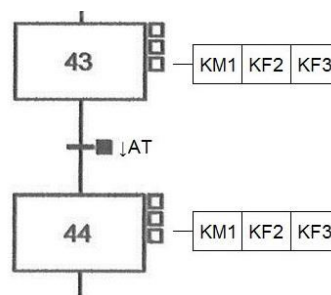


Figura 3.55 – Detecção flanco descendente pelo sensor AT e mudança para velocidade rápida

A receptividade $\downarrow AT$ verdadeira (Figura 3.55), corresponde à detecção do flanco descende pelo sensor AT, à saída da cabina do patamar P0 no decurso do movimento subida e mudança para a velocidade rápida v_2 . A receptividade verdadeira $\downarrow AT \cdot MW67 = 1$ (Figura 3.56) corresponde à detecção do flanco descendente do íman de desaceleração à subida DS1, pelo sensor AT no decurso do movimento de subida e mudança para a velocidade lenta antes da cabina chegar ao patamar P1. A receptividade

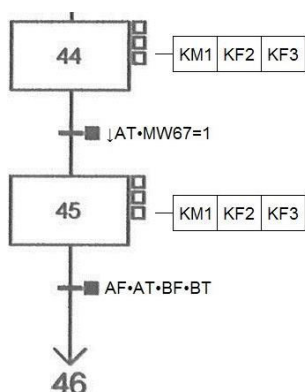


Figura 3.56 – Desaceleração à subida; chegada a P1.

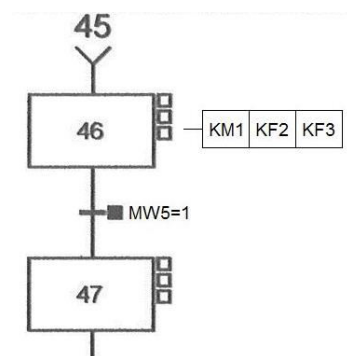


Figura 3.57 – Memória MW5 e cabina no patamar P1

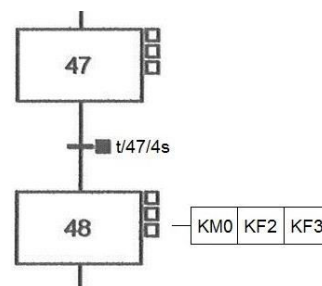


Figura 3.58 – Temporização de 4 segundos em P1

$AF \cdot AT \cdot BF \cdot BT$ verdadeira corresponde à chegada da cabina ao patamar 1 (Figura 3.56) no decurso do movimento de subida e a receptividade $MW5 = 1$ significa que a cabina está no patamar 1 (Figura 3.57). Assim que a cabina se encontra no patamar P1, é iniciada a temporização de 4 segundos $t/47/4s$ (Figura 3.58), finda a qual a cabina arranca em velocidade lenta v_1 para o patamar P0. A receptividade $\downarrow AF$ (Figura 3.59), corresponde à detecção do flanco descendente pelo sensor AF, e à saída da cabina do patamar P1 no decurso do movimento de descida e mudança para a velocidade rápida v_2 . A receptividade verdadeira $\downarrow AF \cdot MW67 = 1$ (Figura 3.60) corresponde à detecção do flanco descendente do íman de desaceleração à descida DD0, pelo sensor AF no decurso do movimento de descida e

mudança para a velocidade lenta $v1$ para o patamar P0. A receptividade $AF \cdot AT \cdot BF \cdot BT$ verdadeira, significa que a cabina acabou de chegar a P0, e a receptividade $MW5 = 0$ que a cabina se encontra de facto em P0, finda a qual, a máquina de tracção pára (Figura 3.61). Assim que a etapa 52 está activa e se verifica a receptividade LD True (= 1) verdadeira, possibilita a evolução para a etapa 8 do Diagrama Principal em SFC/IL (Figura 3.62).

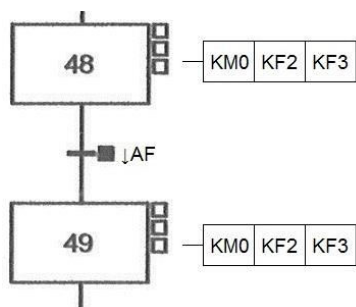


Figura 3.59 – Detecção de flanco descendente pelo sensor AF e mudança para a velocidade rápida

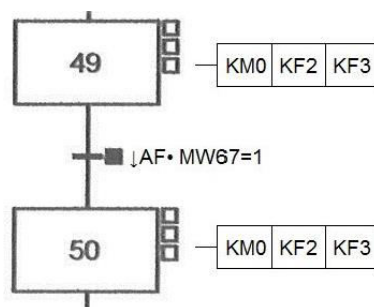


Figura 3.60 – Desaceleração à descida antes de chegar ao patamar P0

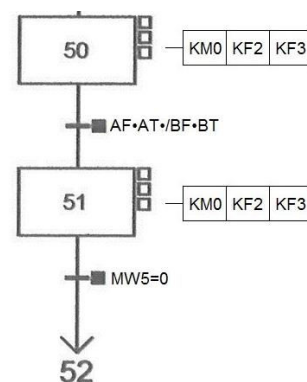


Figura 3.61 – Chegada da cabina ao patamar P0; cabina em P0.

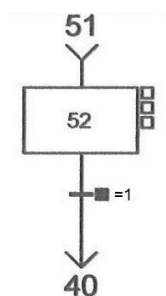


Figura 3.62 – Evolução do diagrama da Sequência de Funcionamento 1 para a etapa 8 do diagrama Principal

Diagrama da Sequência de Funcionamento 2 em SFC/IL

Este diagrama representa a sequência de funcionamento 2, em que a cabina se encontra no patamar P0, parte para o patamar P2, espera 4 segundos, volta ao patamar P1, espera 4 segundos e volta ao patamar P0. Uma vez que o seu funcionamento é semelhante ao diagrama da sequência de funcionamento 1, algumas figuras serão omitidas por questões de simplificação, mostrando-se apenas as situações não contempladas.

Quando a etapa 7 do Diagrama Principal em SFC/IL está activa e finda a temporização de 4 segundos de espera que corresponde à receptividade $X7 \cdot t/7/4s$ verdadeira (Figura 3.63), com a cabina no patamar P0 que corresponde à receptividade $AF \cdot AT \cdot BF \cdot BT$ verdadeira, a cabina arranca em velocidade lenta $v1$ do patamar P0 para P2 após a memória tipo palavra (word) $MW5 = 0$ e se verificar a receptividade verdadeira LD True, isto é, $= 1$. A receptividade $\downarrow AT$ verdadeira, corresponde à

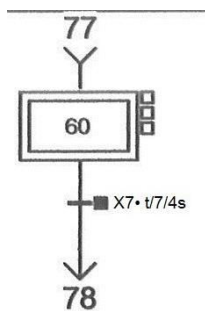


Figura 3.63 – Transposição do grafo do diagrama Principal para o grafo do diagrama da Sequência de Funcionamento 2

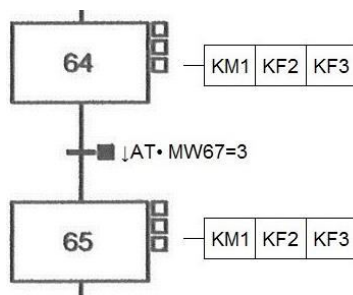


Figura 3.64 – Desaceleração à subida antes de chegar ao patamar P2

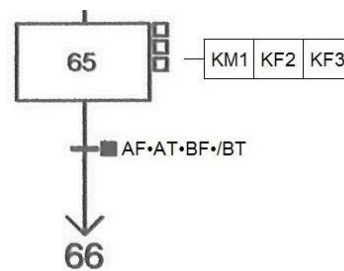


Figura 3.65 – Chegada da cabina ao patamar P2

detecção do flanco descendente pelo sensor AT, à saída da cabina do patamar P0 no decurso do movimento subida e mudança para a velocidade rápida v_2 . A receptividade verdadeira $\downarrow AT \cdot MW67 = 3$ (Figura 3.64) corresponde à detecção do flanco descendente do íman de desaceleração à subida DS2, pelo sensor AT no decurso do movimento de subida e mudança para a velocidade lenta antes da cabina chegar ao patamar P2. A receptividade $AF \cdot AT \cdot BF \cdot BT$ verdadeira (Figura 3.65) corresponde à chegada da cabina ao patamar P2 no decurso do movimento de subida e a receptividade $MW5 = 2$ significa que a cabina está no patamar P2 (Figura 3.66). Assim que a cabina se encontra no patamar P2, é iniciada a temporização de 4 segundos $t/67/4s$, finda a qual a cabina arranca em velocidade lenta v_1 para o patamar P1. A receptividade $\downarrow AF$ verdadeira, corresponde à detecção do flanco descendente pelo sensor AF, à saída da cabina do patamar P2 no decurso do movimento de descida e mudança para a velocidade rápida v_2 . A receptividade $\downarrow AF \cdot MW67 = 3$ verdadeira (Figura 3.67), corresponde à detecção do flanco descendente do íman de desaceleração à descida DD1, pelo sensor AF no decurso do movimento de descida e mudança para a velocidade lenta v_1 para o patamar P1. A

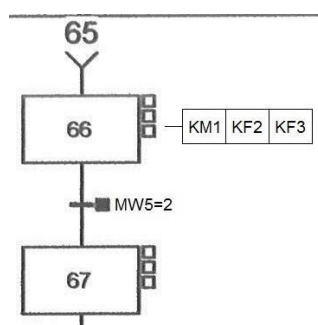


Figura 3.66 – Memória MW5 e cabina no patamar P2

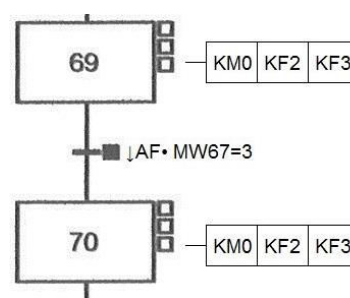


Figura 3.67 – Desaceleração à descida antes de chegar ao patamar P1

receptividade $AF \cdot AT \cdot BF \cdot BT$ verdadeira corresponde à chegada da cabina ao patamar P1 no decurso do movimento de descida e a receptividade $MW5 = 1$ significa que a cabina está no patamar P1.

Assim que a cabina se encontra no patamar P1, é iniciada a temporização de 4 segundos $t/72/4s$, finda a qual a cabina arranca em velocidade lenta $v1$ para o patamar P0. A receptividade $\downarrow AF$, corresponde à detecção do flanco descende pelo sensor AF, à saída da cabina do patamar P1 no decurso do movimento de descida e mudança para a velocidade rápida $v2$. A receptividade $\downarrow AF \cdot MW67 = 1$ verdadeira, corresponde à detecção do flanco descendente do íman de desaceleração à descida DD0, pelo sensor AF no decurso do movimento de descida e mudança para a velocidade lenta $v1$ para o patamar P0. A receptividade $AF \cdot AT \cdot BF \cdot BT$ verdadeira, significa que a cabina acabou de chegar a P0, e a receptividade $MW5 = 0$ que a cabina se encontra de facto em P0, finda a qual, a máquina de tracção pára. Assim que a etapa 77 está activa e se verifica a receptividade LD True (= 1) verdadeira, possibilita a evolução para a etapa 8 do Diagrama Principal em SFC/IL (Figura 3.68).

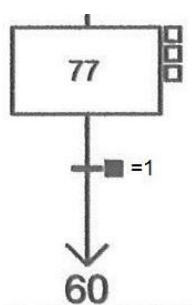


Figura 3.68 – Evolução do diagrama da Sequência de Funcionamento 2 para a etapa 8 do diagrama Principal

O **tratamento posterior** ilustrado no Apêndice C é executado após o processamento sequencial, ou seja, depois dos diagramas de SFC/IL. Para se programar o tratamento posterior utilizou-se a linguagem em Lista de Instruções, IL.

É no tratamento posterior que é efectuada a actualização das saídas digitais para os actuadores com base na informação proveniente dos estados de cada etapa e por intermédio dos relés de saídas digitais do PLC, de modo a não haver conflito entre os três diagramas de SFC. Deste modo, temos quatro relés de saída digital que alimentam as bobinas de cada actuador, sendo eles o relé de movimento de descida KD cujo endereço é %Q2.0 e alimenta a bobina do contactor de descida, o relé de movimento de subida KS cujo endereço é %Q2.1 e alimenta a bobina do contactor de subida, o relé do freio electromecânico 1 cujo endereço é %Q2.2 que alimenta a bobina do relé (actuador) do freio KF2 e o relé do freio electromecânico 2 cujo endereço é %Q2.3 que alimenta a bobina do relé (actuador) do freio KF3.

Código ST implementado

Como referido anteriormente, é através do código implementado em ST que se efectua a gestão das várias memórias e que é atribuído o sinal analógico em tensão correspondente à frequência de referência pretendida, do PLC para o VF. Deste modo, descrever-se-á de um modo sucinto o código elaborado em ST.

Conforme enunciado anteriormente, e ilustrado nas linhas 1 e 2 da Listagem 3.2 (vide Tabela 3.1 de Endereços de Ligação de Entradas/Saídas do PLC), a memória %MW58 depende da palavra de sistema %SW58 e esta permite detectar quando há falha de energia eléctrica da rede.

Conforme exposto na Listagem 3.2 desde a linha 3 à linha 15, à memória do tipo palavra MW8 é atribuído o valor “0”, “1” ou “2” pelas respectivas etapas dos grafos dos diagramas de SFC/IL.

Linha Código

```
(* "LS-byte" de falha de energia *)
1 IF %X0 THEN %SW58:=16#0000;END_IF;
2 %MW58:=%SW58 AND 16#00FF;

(* ... *)
3 IF(%X0 OR %X1 OR %X2 OR %X4 OR %X5 OR %X6 OR %X7 OR %X8 OR %X40 OR
4 %X41 OR %X42 OR %X46 OR %X47
5 OR %X51 OR %X52 OR %X60 OR %X78 OR %X61 OR %X62 OR %X66 OR %X67 OR
6 %X71 OR %X72 OR %X76 OR %X77)
7 THEN %MW8:=0;
8 END_IF;
9 IF(%X3 OR %X30 OR %X43 OR %X45 OR %X48 OR %X50 OR %X63 OR %X65 OR
10 %X68 OR %X70 OR %X73 OR %X75)
11 THEN %MW8:=1;
12 END_IF;
13 IF(%X44 OR %X49 OR %X64 OR %X69 OR %X74)
14 THEN %MW8:=2;
15 END_IF;

(*Atribuicao das frequências*)

16 IF(%MW8=0)THEN %QW5.4:=0;END_IF;
17 IF(%MW8=1)THEN %QW5.4:=2900;END_IF;
18 IF(%MW8=2)THEN %QW5.4:=8500;END_IF;

(* Memórias binárias 0,1 *)
(* ... *)
20 IF %I1.0 THEN SET %M0;END_IF;
21 IF %I1.1 THEN SET %M1;END_IF;
22 IF %I1.2 THEN SET %M2;END_IF;

(* Tempo disponivel para a seleccao de sequencia de pisos *)
23 IF(%MW5=0)AND((%I1.0)OR(%I1.1)OR(%I1.2))THEN START %TM1;END_IF;
24 IF(%TM1.V<=%TM1.P)THEN
25 IF %I1.1 AND NOT(%M2)THEN SET %M12;END_IF;
26 IF %I1.2 AND NOT(%M1)THEN SET %M21;END_IF;
27 END_IF;
28 IF(%TM1.V=%TM1.P)THEN DOWN %TM1;END_IF;
(* ... *)
```

Listagem 3.2 – Código em Texto Estruturado parte 1

A atribuição do sinal analógico em tensão a enviar do PLC para o VF que corresponde à frequência pretendida, é efectuada através de QW5.4 (Listagem 3.2 linhas 16, 17 e 18). Deste modo, quando MW8 é “0” é atribuída uma tensão analógica nula, quando MW8 é “1” é atribuído um sinal analógico em tensão QW5.4 a enviar do PLC para o VF que corresponde à velocidade lenta, e quando MW8 é “2” é atribuído um sinal analógico em tensão QW5.4 que corresponde à velocidade rápida. Convém referir que é possível alterar o valor de QW5.4 entre “0” e “10000” para os três valores de MW8, o que corresponde a uma tensão entre “0” e “10” V.

Para memorização dos botões premidos e memorização da sequência de funcionamento escolhida foram utilizadas memórias binárias de valor lógico “0” ou “1” conforme ilustrado na Listagem 3.2 linhas 20, 21 e 22. Deste modo, o botão I1.0 coloca a “1” a memória M0, o botão I1.1 coloca a “1” a memória M1 e o botão I1.2 coloca a “1” a memória M2.

Conforme ilustra a Listagem 3.2 desde a linha 23 até à linha 28, a temporização para a escolha da sequência de funcionamento (%TM1) é efectuada com a cabina no patamar P0, o que corresponde à memória tipo palavra MW5 = 0 e com o premir de um dos três botões. A memória M12 corresponde à selecção do botão B1 (%I1.1) e a memória M21 corresponde à selecção do botão B2 (%I1.2).

Linha Código

```
(* Programacao das memorias %MW67, %M6 e %M7*)
29 IF(%I1.6 AND %I1.7 AND NOT %I1.8 AND %I1.9)THEN %MW67:=0;END_IF;
30 IF(%MW3=1)THEN
31 IF FE %I1.7 THEN %MW67:=%MW67+1;END_IF;
32 END_IF;
33 IF(%MW3=0)THEN
34 IF FE %I1.6 THEN %MW67:=%MW67-1;END_IF;
35 END_IF;
36 IF(%MW67=1)OR(%MW67=2)THEN SET %M6;END_IF;
37 IF(%MW67=3)OR(%MW67=4)THEN SET %M7;END_IF;
38 IF(%I1.6 AND %I1.7 AND NOT %I1.8 AND
39 %I1.9)OR((%MW67=3)OR(%MW67=4))THEN RESET %M6;END_IF;
40 IF(%I1.6 AND %I1.7 AND NOT %I1.8 AND
41 %I1.9)OR((%MW67=1)OR(%MW67=2))THEN RESET %M7;END_IF;

(* ... *)
42 IF NOT %I1.3 THEN SET %M11;END_IF;
(* ... *)

(* reset %M *)
43 IF FE %I1.8 THEN RESET %M0;RESET %M1;RESET %M2;RESET %M12;RESET
%M21;END_IF;

44 IF %I1.0 THEN RESET %M11;END_IF;

(* Memórias do tipo palavras / "word": 0,1,2,3,... *)
(* piso 0 *)
45 IF NOT %I1.8 AND %I1.9 THEN %MW5:=0;END_IF;
(* piso 1 *)
```

```

46 IF %I1.6 AND %I1.7 AND %I1.8 AND %I1.9 AND(%MW5=0)THEN
47 %MW5:=%MW5+1;END_IF;
(* piso 2 *)
48 IF %I1.6 AND %I1.7 AND %I1.8 AND NOT %I1.9 AND(%MW5=1)THEN
49 %MW5:=%MW5+1;END_IF;
(* piso 1 *)
50 IF %I1.6 AND %I1.7 AND %I1.8 AND %I1.9 AND(%MW5=2)THEN
51 %MW5:=%MW5-1;END_IF;
(* piso 0 *)
52 IF NOT %I1.8 AND %I1.9 AND(%MW5=1)THEN %MW5:=%MW5-1;END_IF;

(* Estado de movimento: parado, subida, ou descida *)
53 IF %Q2.0 THEN %MW3:=0;END_IF;
54 IF %Q2.1 THEN %MW3:=1;END_IF;
55 IF(%QW5.4=0)THEN %MW3:=2;END_IF;

```

Listagem 3.3 – Código em Texto Estruturado parte 2

Conforme mostra a Listagem 3.3 desde a linha 29 até à 41 (vide Tabela 3.1 de Endereços de Ligação de Entradas/Saídas do PLC), a memória do tipo palavra MW67 foi utilizada nos grafos do Diagrama da Sequência de Funcionamento 1 e Diagrama de Sequência de Funcionamento 2, para ajudar a efectuar a desaceleração e efectuar a mudança para a velocidade lenta quando a cabina está prestes a chegar ao patamar de paragem pretendido.

A memória do tipo palavra MW67 foi utilizada no grafo do Diagrama da Sequência de Funcionamento 1 quando a cabina está a chegar ao patamar P1 vindo de P0 no decurso do movimento de subida, juntamente com a detecção do flanco descendente do sensor AT ($\downarrow \text{AT} \cdot \text{MW67} = 1$) quando a cabina passa pelo íman de desaceleração à subida DS1. Também foi utilizada quando a cabina está a chegar ao patamar P0 vindo de P1 no decurso do movimento de descida, juntamente com a detecção do flanco descendente do sensor AF ($\downarrow \text{AF} \cdot \text{MW67} = 1$) quando a cabina passa pelo íman de desaceleração à descida DD0.

Do mesmo modo, a memória MW67 foi utilizada no grafo do Diagrama de Sequência de Funcionamento 2 quando a cabina está a chegar ao patamar P2 vindo de P0 no decurso do movimento de subida, juntamente com a detecção do flanco descendente do sensor AT ($\downarrow \text{AT} \cdot \text{MW67} = 3$) quando a cabina passa pelo íman de desaceleração à subida DS2. Também foi utilizada quando a cabina está a chegar ao patamar P1 vindo de P0 no decurso do movimento de descida, juntamente com a detecção do flanco descendente do sensor AF ($\downarrow \text{AF} \cdot \text{MW67} = 3$) quando a cabina passa pelo íman de desaceleração à descida DD1. Do mesmo modo, também foi utilizada quando a cabina está a chegar ao patamar P0 vindo de P1 no decurso do movimento de descida, juntamente com a detecção do flanco descendente do sensor AF ($\downarrow \text{AF} \cdot \text{MW67} = 1$) quando a cabina passa pelo íman de desaceleração à descida DD0.

As memórias binárias M6 e M7 (Listagem 3.3 linhas 36, 37, 39 e 41) não foram utilizadas nos grafos estando disponíveis para aplicações em trabalhos de melhoria futura.

Como referido anteriormente, ao premir-se o botão I1.3 efectua-se a paragem de emergência e coloca-se a memória binária M11 a “1” (Listagem 3.3 linha 42).

O “reset” da memória M11 é efectuado pelo premir do botão B0 cujo endereço é %I1.0 (Listagem 3.3 linha 44).

Conforme ilustra a Listagem 3.3 linha 43, o “reset” das memórias M0, M1, M2, M12 e M21 é efectuado pelo sensor biestável da frente BF cujo endereço é %I1.8.

A memória do tipo palavra MW5 é incrementada quando a cabina chega a um patamar no sentido do movimento de subida ou passa por este, e decrementada quando chega a um patamar no sentido de movimento de descida ou passa por este (Listagem 3.3 desde a linha 45 até à 52). Quando a cabina se encontra no patamar ou passa pelo patamar P1 é incrementada uma unidade tendo em conta o valor anterior do estado da memória e o estado da leitura dos quatro sensores de posição de cabina ao patamar. O mesmo sucede quando chega ao patamar P2. No sentido do movimento de descida, é decrementada uma unidade tendo em conta o valor anterior do estado da memória e o estado da leitura dos quatro sensores de posição de cabina ao patamar ou quando passa por este.

A leitura do estado do movimento, isto é, se a cabina por intermédio da máquina de tracção está parada, em movimento de subida ou de descida, é efectuado por intermédio dos valores atribuídos à memória tipo palavra %MW3 (Listagem 3.3 linhas 53, 54 e 55). Deste modo, é atribuído o estado “0” a %MW3 no caso da cabina se encontrar no sentido de movimento de descida (máquina de tracção em funcionamento) por %Q2.0, é atribuído o estado “1” a %MW3 no caso da cabina se encontrar no sentido de movimento de subida (máquina de tracção em funcionamento) por %Q2.1, e é atribuído o estado “0” se a cabina se encontra parada (máquina de tracção parada) pela atribuição do sinal analógico em tensão a enviar do PLC para o VF, que corresponde à frequência pretendida, através de $QW5.4 = 0$.

4 Resultados Experimentais

Neste capítulo descrevem-se os ensaios e testes efectuados a nível mecânico, eléctrico e de programação relacionados com o elevador protótipo de monta-cargas industrial desde a obtenção da máquina de tracção até ao final, após a montagem do elevador (processo e automatismo) inclusive após a montagem. Os mesmos têm como objectivo determinar parâmetros e determinar o bom funcionamento de componentes e sistemas. Dada a extensão deste trabalho, optou-se por descrever a parte respeitante ao projecto mecânico e respectiva montagem no Apêndice D.

4.1 Ensaios da Máquina de Tracção

Após a obtenção da máquina de tracção foi imperativo proceder aos ensaios da mesma. Inicialmente, os ensaios relacionados com a máquina de tracção foram realizados com esta isolada, em vazio, sem carga ao veio da caixa redutora e sem roda de aderência e só posteriormente com esta. Em primeiro lugar procedeu-se aos ensaios do travão electromecânico e só depois aos da máquina de tracção sem roda de aderência e posteriormente com esta.

4.1.1 Ensaios do Travão Electromecânico

Antes dos ensaios do motor eléctrico da máquina de tracção foi necessário efectuar os ensaios do travão electromecânico. Estes foram realizados com o motor assíncrono trifásico parado.

Inicialmente mediu-se a resistência do enrolamento da bobina do solenóide do travão electromecânico cujo valor é $269\ \Omega$.

Por serem desconhecidos os valores da tensão de alimentação da bobina e a corrente eléctrica que a percorre e sabendo que esta é alimentada por tensão e corrente contínua, procedeu-se à realização dos ensaios para determiná-los.

Alimentou-se a bobina com uma fonte de tensão contínua. Foi aplicada uma tensão contínua baixa a qual foi aumentada progressivamente até 30 V. Como o rotor do motor eléctrico continuava preso, decidiu-se utilizar duas fontes de tensão contínua em série. Deste modo, verificou-se que para uma tensão de 44,4 V e uma corrente de 0,16 A o travão abriu e o rotor do motor ficou desbloqueado. Decidiu-se aumentar a corrente eléctrica e deste modo, alimentou-se a bobina com uma tensão contínua de 62 V verificando-se que a corrente contínua aumentou para 0,20 A conforme ilustram a Figura 4.1 e Figura 4.2.

Procedeu-se ao mesmo ensaio, mas desta vez com três fontes de tensão contínua ligadas em série a alimentar a bobina. Verificou-se que não constituiu problema alimentá-la com uma tensão contínua de 94 V e uma corrente de 0,32 A. Com esta conclusão, implementou-se um circuito com ponte

rectificadora de onda completa para alimentar a bobina do travão electromecânico. A tensão contínua de saída do rectificador em vazio (sem estar conectado à bobina) é de 91,6 V.

Durante os ensaios realizados com o motor assíncrono trifásico à velocidade nominal, verificou-se que com as duas fontes de tensão em série a alimentar a bobina do travão electromecânico, a corrente foi de 0,28 A, que é um valor que obedece às especificações sendo portanto aceitável.

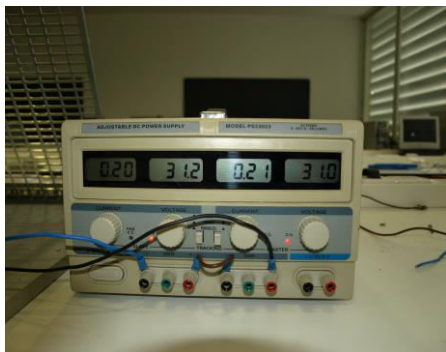


Figura 4.1 – Duas fontes de tensão contínua em série

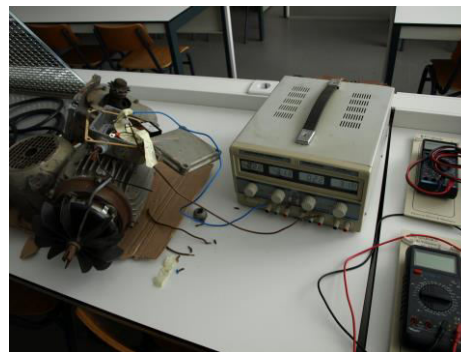


Figura 4.2 – Alimentação da bobina do travão electromecânico com duas fontes de tensão contínua em série

4.1.2 Ensaios do Motor Assíncrono Trifásico

Concluídos os ensaios do travão electromecânico, procederam-se aos ensaios do motor assíncrono trifásico da máquina de tracção. Para tal, efectuou-se a montagem do circuito de arranque directo do motor assíncrono trifásico com inversão de marcha cujo circuito está representado no Anexo A. Antes destes, foi medida a resistência de cada enrolamento do motor eléctrico cujo valor é 5 Ω .

Pretende-se com os mesmos medir a tensão simples, a tensão composta, a corrente de linha no momento do arranque do motor e com este à velocidade nominal. Foram realizados dois tipos de ensaios, um com o rotor desbloqueado e outro com o rotor bloqueado. Para a realização destes dois ensaios foi montado e utilizado o esquema de automatismo de inversor do motor assíncrono trifásico (com inversão de marcha) representado no Anexo A, o qual mostra o circuito de potência e o circuito de comando.

Utilizaram-se duas fontes de tensão contínua em série para alimentar a bobina do travão. Com o motor parado, a corrente medida na bobina do travão electromecânico com o amperímetro $I_{\text{travão}}$, foi de 0,30. Com o motor a trabalhar à velocidade nominal a corrente do travão $I_{\text{travão}}$, foi de 0,28 A.

O valor da tensão composta medido U_c foi de 440 V e o valor da tensão simples U_s de 259 V.

À velocidade nominal as correntes de linha medidas foram de $i_u = 2,46$ A, $i_v = 2,38$ A e $i_w = 2,47$ A.

No momento do arranque do motor (durante o regime transitório) as correntes de linha medidas foram de $i_u = 3,51$ A, $i_v = 4,25$ A e $i_w = 4,60$ A.

Com o rotor bloqueado pelo travão e o motor a trabalhar, as correntes de linha subiram até ao valor regulado no relé térmico até este disparar.

4.2 Ensaaios durante a montagem

Durante a montagem da instalação eléctrica, foi necessário efectuar ensaios individuais a alguns dos componentes, para averiguar que estes estavam a funcionar individualmente, factor determinante para a sua montagem e seu funcionamento, no cômputo geral da instalação, assim como testes aos diferentes circuitos, à medida que os componentes eram montados e os circuitos efectuados.

Deste modo, foram efectuados os ensaios individuais a cada um dos interruptores magnéticos do tipo *reed switch*, vulgarmente designados de ampolas, tanto do tipo monoestável, como do tipo biestável a seguir descritos.

O interruptor magnético monoestável, representado na Figura 4.3, é constituído por um interruptor normalmente aberto NA com um fio condutor em cada extremidade. Foi efectuado o teste de funcionamento deste, seleccionando no multímetro o modo de continuidade e ligando as duas pontas de prova do multímetro digital cada uma a cada extremidade. Passando um íman frente à ampola, o contacto fecha e passa corrente eléctrica injectada pelo multímetro no interruptor. Quando se tira o íman frente à ampola, o contacto volta à sua posição normal de normalmente aberto NA e deixa de passar corrente eléctrica no mesmo. Deste modo, sabe-se que o interruptor magnético monoestável está a funcionar, fechando frente a um íman e abrindo o seu contacto fora deste.



Figura 4.3 – Interruptor magnético monoestável

O interruptor magnético do tipo biestável tem efeito de memória. Para se obter este efeito, é necessário ter dois ímans, cujas frentes estão juntas longitudinalmente pelo pólo norte de um íman e o pólo sul do outro íman. Na Figura 4.4 representa-se a ampola biestável da frente e respectivos ímans cujo teste de funcionamento para a sua montagem na instalação eléctrica a seguir se descreve. Deste modo, foi seleccionado no multímetro digital o modo de continuidade e ligadas as duas pontas de prova, cada uma a cada extremidade de cada fio condutor da ampola, tendo em consideração que cada ampola tem dois fios condutores. Injectou-se uma corrente fraca e verificou-se que com o pólo sul do íman em baixo e

o pólo norte do outro íman em cima, quando a ampola está frente ao pólo sul ou abaixo deste não conduz e quando está frente ao pólo norte ou acima deste conduz corrente eléctrica.



(a)



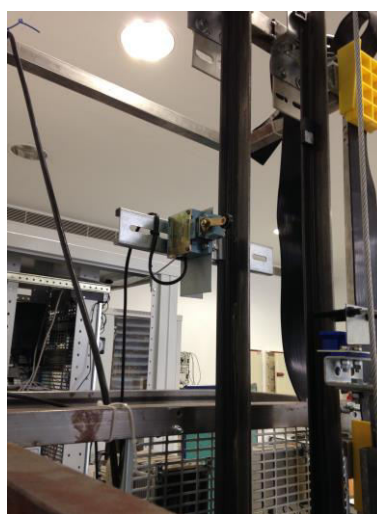
(b)

Figura 4.4 – Biestável da frente e respectivos ímans

Na Figura 4.5 representa-se a ampola biestável de trás e respectivos ímans cujo teste de funcionamento para a sua montagem na instalação eléctrica adiante se descreve.



(a)



(b)

Figura 4.5 – Biestável de trás e respectivos ímans

Injectou-se uma corrente fraca e verificou-se que com o pólo norte do íman em baixo e o pólo sul do outro íman em cima, quando a ampola está frente ao pólo norte ou abaixo deste conduz e quando está frente ao pólo sul ou acima deste não conduz corrente eléctrica.

Outro ensaio importante efectuado, foi o teste de continuidade de cada fio condutor do cabo flexível que liga todos os circuitos inerentes da cabina ao quadro eléctrico de comando e controlo.

Para tal, foi injectada uma corrente fraca com o multímetro em cada fio condutor para saber se não havia perda de continuidade e a que entrada do PLC foi ligado cada componente eléctrico. Do mesmo modo, efectuou-se o mesmo teste quando foi necessário ligar cada componente eléctrico, por exemplo, os sensores às respectivas entradas do módulo de entradas discretas do PLC, assim como do módulo de saídas a relé do PLC aos contactores de sentido de movimento e relés do travão e do módulo de saídas e entradas analógicas do PLC ao módulo de controlo do variador de frequência OMRON V1000.

Também foi medida a tensão das várias entradas e saídas do transformador para verificar se estava em consonância com a descrita na sua chapa de características.

4.3 Ensaios de funcionamento

Esta subsecção visa a descrição dos ensaios efectuados ao funcionamento do protótipo de elevador monta-cargas, sendo descritos em primeiro lugar o ensaio de funcionamento por intermédio do utilizador e posteriormente através do automatismo. Estes ensaios foram efectuados com todo o esquema eléctrico e respectivos circuitos inerentes ao elevador monta-cargas montados e finalizados.

4.3.1 Ensaio com controlo manual

Este ensaio em anel aberto é efectuado através do variador de frequência, por intermédio da sua consola HMI, na qual o utilizador introduz o valor da frequência pretendida, que corresponde à velocidade pretendida para o motor eléctrico e controla a posição da cabina visualmente. Neste ensaio, as seguranças do elevador não actuam podendo-se levar a cabina ou o contrapeso até embater na mola até a roda de aderência patinar. Este tipo de ensaio só deve ser efectuado para efeitos de demonstração, porque a bobina do electroímã do travão não está alimentada e o travão está “preso” e a frear o veio da máquina de tracção. Serve apenas para efeitos didácticos para os alunos poderem ver o aumento de corrente nos enrolamentos do motor eléctrico de tracção estimada pelo variador de frequência através da consola HMI.

4.3.2 Ensaios com controlo automático

Pretende-se com estes ensaios em anel aberto confirmar o correcto funcionamento do elevador monta-cargas, testar as seguranças, tempo de percurso da cabina do patamar inferior P0 até ao patamar superior P2 à velocidade máxima, confirmar a velocidade nominal do elevador máxima, ver o estado das diversas variáveis e memórias por intermédio da tabela de animação dos programas de aplicação em *software* PL7 e testar falhas e avarias. Também foi possível verificar o correcto funcionamento para as frequências de funcionamento f_0 , f_1 e f_2 que correspondem as velocidades v_0 , v_1 e v_2 , sendo possível alterar o valor das mesmas.

Deste modo, para se efectuar um cálculo aproximado da velocidade máxima do elevador, foi necessário no código de texto estruturado ST introduzir o valor 10 000 para ambas as frequências f1 e f2 que corresponde ao envio de uma tensão analógica de +10 V cc do PLC para o variador de frequência que corresponde à velocidade máxima. Mediu-se o tempo que a cabina leva a efectuar o percurso do seu curso, isto é, desde o patamar P0 ao patamar P2 sem paragens, e verificou-se que esse tempo foi de 3,80 s. Como a velocidade é o deslocamento em ordem ao tempo, $v = \frac{d}{t}$, obteve-se para um curso de 1,09 m uma velocidade de 0,29 m/s, valor idêntico à velocidade medida com o tacómetro na roda de aderência de 0,28 m/s e um pouco abaixo da obtida por intermédio dos cálculos efectuados quando da selecção da roda de aderência.

Com o teste à velocidade máxima, no decurso do movimento de descida, por falta de alguma aderência na respectiva roda, verificou-se que a cabina embateu na mola e antes deste embate o fim-de-curso inferior actuou e “cortou” a alimentação do circuito de força motriz do motor eléctrico da máquina de tracção e a alimentação do respectivo travão electromecânico. Do mesmo modo, o mesmo sucedeu no decurso do movimento de subida, quando o contrapeso embateu na mola, com o fim-de-curso superior.

O estado das variáveis do tipo binário, do tipo memória de palavra ou bit de sistema, intervenientes nos programas de aplicação em SFC/IL e ST, pode ser visto na tabela de animação através dos bits para o caso de variáveis do tipo binário ou em hexadecimal para as memórias de palavra ou bits de sistema. A título ilustrativo, a Figura 4.6 representa a tabela de animação para o caso em que a cabina se encontra no patamar P0.

Modification	Address	Symbol / Name	Current value	Kind	Type
F3 Modify	%I6		1		
	%I7		1		
F7 0	%I8		0		
	%I9		1		
F8 1	%M6		0		
	%M7		0		
Forcing	%M1		0		
F4 Force to 0	%M2		0		
	%M12		0		
F5 Force to 1	%M21		0		
	%MW5		0		
F6 Unforce	%MW3		2		
	%M6		0		
Display	%M7		0		
	%MW67		0		
	%S150		16#3700		
	%I3		1		
	%I4		1		
	%I5		1		
	%S9		0		
	%S21		0		
	%S22		0		
	%I5		1		
	%I0		0		
	%S158		16#0000		
	%MW58		16#0000		
	%S0		0		
	%S1		0		

Figura 4.6 – Tabela de animação com a cabina no patamar P0

Também foram efectuados ensaios para se determinar o comportamento do automatismo e processo no caso de falta ou falha de energia eléctrica. Um dos ensaios consistiu em desligar o disjuntor de alimentação do PLC com a máquina de tracção em funcionamento e consequentemente a cabina e contrapeso em movimento, simulando a falta de energia eléctrica à alimentação do PLC ou a falta da fase de alimentação. Como resultado, tem-se que a saída analógica do PLC para o variador de frequência vai a zero e faz com que o VF receba zero volts e pára o motor eléctrico de tracção e a alimentação do travão electromecânico é cortada frenando a máquina de tracção. Consequentemente a máquina de tracção pára, assim como a cabina e o contrapeso. No caso de se desligar ou cortar um condutor da saída analógica do PLC para o VF o motor de tracção pára. No entanto, nesta situação, como a alimentação do travão electromecânico é indendente e não está dependente do sentido de movimento do motor de tracção, o travão continua alimentado, não freando a máquina de tracção, caso a alterar num trabalho de melhorias futuras.

Para além da realização dos ensaios supracitados, também foram realizados testes de segurança respeitantes à actuação da paragem de emergência e do fim de curso superior e fim de curso inferior. Uma vez que a programação das linhas de código destas três seguranças estão programadas no tratamento preliminar para além do tratamento sequencial, quando da actuação de uma destas seguranças, em virtude das suas linhas de código estarem programadas no tratamento preliminar, faz com que o evoluir dos diagramas de SFC sejam bloqueados tendo como consequência a desactivação das saídas do PLC e paragem imediata da máquina de tracção e consequentemente da cabina/contrapeso. No caso de interrupção de um fio condutor de um dos sensores destas três seguranças, a consequência é a mesma que no caso da actuação de uma destas seguranças, bloqueado o evoluir do funcionamento sequencial dos diagramas de SFC com consequente paragem imediata da máquina de tracção e paragem da cabina/contrapeso.

Outro ensaio efectuado, foi a simulação da falha de um sensor de posição da cabina. Nesta situação, e devido ao funcionamento sequencial do automatismo (em SFC) não é efectuada a leitura do sinal de informação do sensor e o funcionamento do diagrama funcional sequencial continua até o contrapeso actuar o fim de curso superior ou inferior, provocando a paragem da máquina de tracção e consequente a paragem da cabina/contrapeso.

No caso de ser retirado um íman que actua um dos sensores de posição, o resultado é o mesmo anteriormente descrito, tendo como consequência a paragem da máquina de tracção devido à actuação do fim de curso superior ou inferior e a paragem da cabina/contrapeso.

Para além dos ensaios enumerados anteriormente, existem outras situações de falha que provocam avaria no automatismo e processo. Entre eles, enumeram-se avaria na fonte de alimentação que provoca falha no fornecimento da tensão contínua de +24 V CC e consequente falta de alimentação nos contactores de subida, de descida, nos relés do freio, falha no sinal de informação em cada sensor de posição de cabina (inexistência de +24 V CC aos terminais do PLC, TSX DMZ 28 DR), falha no

sinal de informação em cada botão (B0, B1 e B2), falha no sinal de informação das seguranças de paragem de emergência (PE), fim de curso superior (FCS) e fim de curso inferior (FCI). Estas falhas em simultâneo podem ser simuladas através do desligar do disjuntor da fonte de tensão de alimentação e individualmente através do desligar dos fios condutores de cada sensor ou botão. É de notar que a fusão de um fusível do respectivo circuito de + 24 V CC também tem como consequência a falha do sinal de informação do respectivo circuito.

Desligando o disjuntor da fonte de alimentação, o motor eléctrico de tracção pára e cabina pára na posição do curso em que se encontra. Voltando a ligar o disjuntor é necessário permitir o botão B0 para efectuar o rearme (reset). Se estiver fora do piso P0 volta a este ao fim de 4 segundos.

No caso de desligar o disjuntor do transformador, falta a alimentação à bobina do freio (travão electromecânico), inclusive com os relés do freio actuados. Caso o motor eléctrico de tracção esteja a trabalhar dar-se-á um aumento de corrente até 3 A. Numa instalação real isto não acontece, porque como não é dado o sinal de abertura de travão, o variador de frequência nunca accionaria o motor eléctrico de tracção.

4.4 Manutenção

Apesar do protótipo de elevador monta-cargas implementado ser robusto a nível mecânico, eléctrico e de programação, convém referir que não se devem descuidar os aspectos relacionados com a manutenção do mesmo. Deste modo, a nível mecânico deve-se verificar todos os apertos relacionados com a roda de aderência, nomeadamente a fixação da roda dentada ao veio da caixa redutora à qual está fixa a roda de aderência, o aperto de todos os parafusos relacionado com a roda de aderência e as fixações das guias, fixação da máquina de tracção à estrutura autoportante, fixação dos amortecedores de mola da cabina e contrapeso, folgas das roçadeiras da cabina e contrapeso em relação às respectivas guias, apertos de todos os parafusos da cabina e contrapeso, verificar as fixações do sistema de suspensão da cabina e contrapeso e respectivos apertos, e fixação dos apoios da estrutura autoportante à mesma.

A nível de instalação eléctrica, deve-se verificar os apertos de todos os fios condutores nos respectivos componentes ao qual estão ligados, caso necessário verificar a continuidade de fios condutores, testar o interruptor diferencial trifásico, testar todos os botões e sensores relacionados com seguranças para verificar o seu correcto funcionamento, assim como dos circuitos em que estão montados, verificar o correcto funcionamento dos sensores de posição de cabina e correcta posição de colocação dos ímans dos mesmos, verificar o correcto funcionamento dos actuadores, verificar o correcto funcionamento do travão (freio) electromecânico e respectivo circuito, verificar o funcionamento do motor assíncrono trifásico de tracção, efectuar, caso necessário, as medidas dos valores de tensão e corrente dos vários componentes e circuitos.

A nível dos códigos implementados, pode-se recorrer à tabela de animação para verificar o valor do estado das variáveis relacionadas com botões, sensores, e memórias.

5 Conclusões

Neste capítulo, apresenta-se uma síntese do trabalho efectuado, os resultados mais importantes que foram obtidos e fazem-se recomendações para trabalho futuro.

5.1 Síntese do Trabalho Efectuado

Começou-se por estabelecer a importância deste trabalho que nomeadamente, vai servir para ser utilizado em tarefas de ensino, investigação e aprofundar o *know-how*, muitas vezes oculto pelas empresas que trabalham no sector dos elevadores.

Posteriormente procedeu-se à introdução e explicação exaustiva do conceito do elevador, seus constituintes e estratégias de controlo, incluindo a legislação dos elevadores.

Todos os aspectos do estado da arte serviram como contribuição para a especificação do sistema elevador. Após feitas essas especificações, procedeu-se à montagem do elevador. Todo esse processo de construção prolongou-se ao longo do tempo, envolvendo a construção da estrutura metálica autoportante do elevador, a componente mecânica, componente eléctrica, a componente de automação e de controlo e componente de programação.

Após a construção do sistema, procedeu-se aos respectivos testes de funcionamento, nos quais se concluiu que o elevador funcionou de acordo com as especificações definidas na fase prévia da sua construção.

Todo este trabalho revestiu-se de significativos desafios conceptuais e tecnológicos, nomeadamente ao nível de integração e interoperabilidade, pois foi necessário construir e agregar componentes de diversas áreas (mecânica, electrotécnica, informática). Estes desafios estão bem patentes na visão conceptual do sistema ilustrada na Figura 3.2 no início do capítulo 3.

5.2 Resultados Obtidos

Um aspecto importante que importa referir, constitui no esforço significativo de integração das diversas componentes mecânicas, eléctricas, de automação, de controlo e de programação, de forma a ter-se um todo, o elevador proposto, que funcionasse de forma adequada, em termos das especificações definidas previamente e também das restrições tecnológicas. Outro aspecto importante foi o elevador ter sido construído de forma a ser compatível com a legislação portuguesa.

Este trabalho permitiu fazer um estudo aprofundado do conceito de elevador, funcionalidade, estrutura e características técnicas.

O elevador construído possui diversas bases (de mecânica, eléctrica, de automação, de controlo e programação) que podem ser adequadas para novos requisitos no futuro, e que também servem para actividades de treino e investigação, localmente ou remotamente.

Os resultados obtidos nos testes de funcionalidade e robustez do sistema a nível mecânico, eléctrico e de programação foram atingidos com sucesso tendo sido alcançados todos os objectivos iniciais propostos, concluindo-se que o protótipo de elevador monta-cargas funciona conforme as especificações requeridas.

Este trabalho permitiu obter os seguintes resultados:

- Efectuou-se um estudo aprofundado do conceito de elevador, características técnicas, especificações de funcionamento, utilização e controlo, inclusive um estudo da legislação relevante para o sector das instalações de elevação com relevância para os elevadores de transporte de pessoas e/ou carga.
- Projectou-se, construiu-se, implementou-se e testou-se um elevador monta-cargas de tracção eléctrica com automatismo, que fica disponível no laboratório de automação do DEE da FCT/UNL para actividades de treino, ensino e investigação, no qual está, de momento, a decorrer teses de mestrado.
- Projectou-se e construiu-se a estrutura metálica autoportante que alberga todos os componentes mecânicos e eléctricos do elevador em causa, nomeadamente a cabina, contrapeso, máquina de tracção, quadro eléctrico e outros componentes.
- Projectou-se e instalou-se a componente eléctrica, que inclui os botões de interação com o utilizador, os sensores, os actuadores (contactores e relés dos circuitos de comando), motor trifásico de tracção e electromíman pertencentes à máquina de tracção.
- Projectou-se e instalou-se a componente de controlo do elevador que foi efectuada através do recurso de um controlador lógico programável e variador de frequência.
- Programou-se o funcionamento do elevador recorrendo a diversas linguagens de programação, que foram postas em funcionamento dentro do controlador lógico programável na componente de controlo.

5.3 Trabalho Futuro

Mercê do estudo aprofundado, foram identificados bastantes requisitos que poderiam ser também implementados. No entanto, tal esforço colocaria este trabalho muito para além do âmbito de uma dissertação de mestrado. Dado que o estudo referido foi feito, importa deixar aqui expresso esses requisitos identificados para que investigadores possam no futuro melhor capitalizar com estes resultados e o elevador.

Tendo em conta que um dos objectivos desta dissertação foi o projecto e construção de um protótipo de elevador monta-cargas utilizando como cerne do automatismo um PLC e um variador de

frequência, PLC esse que foi programado utilizando três linguagens de programação distintas, pretende-se que de futuro este elevador seja utilizado por docentes e discentes, localmente ou remotamente para ensino, formação técnica e investigação nas áreas da mecânica, automação, controlo.

Adicionalmente, devido à significativa abrangência e complexidade deste trabalho, que conforme referido antes envolveu um grande esforço na combinação de tecnologias e conceitos de distintas áreas, ao longo do tempo, fomos nos deparando com novas questões e desafios. Algumas destas questões, embora bastante pertinentes, já saíam fora do âmbito deste trabalho. No entanto, importa referi-las para eventual trabalho futuro, para que outros técnicos ou investigadores consigam melhor usufruir deste trabalho e assim, poderem começar dum ponto de partida mais avançado. Deste modo, apresentam-se as seguintes sugestões, que o leitor poderá considerar as mais relevantes como melhorias futuras a implementar:

- Utilizar um módulo de contagem para incremento e decremento da posição da cabina quando se encontra no patamar e entre patamares em substituição das respectivas memórias utilizadas nas linhas de código em IL do SFC e do ST;
- Implementar uma barreira de fotocélulas no acesso da cabina que permita imobilizar o elevador, quando a cabina se encontra ao piso, no caso de cargas e descargas;
- Implementar um sistema de pára-quedas com limitador de velocidade e roda tensora com os respectivos contactos eléctricos, para prevenir o excesso de velocidade à subida e à descida, e prevenir a rotura do sistema de suspensão;
- Implementar um sistema de afrouxamento do cabo de suspensão com o respectivo contacto eléctrico que provoque a paragem da máquina de tracção;
- Efectuar a ligação do termistor PTC ao autómato e respectiva programação para prevenir o aquecimento excessivo do motor eléctrico de tracção;
- Efectuar a programação do limitador de tempo de funcionamento do motor, também conhecido por detector de patinagem;
- Introduzir um sistema de excesso de carga;
- Introduzir um sistema a simular as portas automáticas de patamar e de cabina com o respectivo esforço de porta, fotocélula ou barreira de fotocélulas, contactos eléctricos de fecho e abertura das portas, assim como, contactos de fecho e encravamento da porta de patamar e fecho da porta de cabina;
- Introduzir um sistema de detecção de incêndio que permite detectar fumo ou fogo e faça parar a cabina no próximo piso quando do respectivo sentido de movimento;
- Introduzir um dispositivo que permita detectar um aumento excessivo da temperatura ambiente e um outro que permita detectar uma diminuição acentuada da temperatura

- ambiente, que possa ser prejudicial ao quadro eléctrico e bloqueie o funcionamento do elevador, para salvaguardar os dispositivos do quadro eléctrico;
- Instalar uma resistência de frenagem para o variador de frequência;
 - Instalar um filtro de ruído na entrada do variador de frequência;
 - Reprogramar o PLC em IL ou ST e comparar os resultados com a actual programação concorrente;
 - Introduzir um sistema de comunicação bidireccional com linha telefónica que permita comunicar entre a cabina e a central de atendimento permanente remotamente;
 - Introduzir um sistema de envio de sinais por *modbus* ou *Canopen* que permite diminuir o número de condutores eléctricos a utilizar;
 - Introduzir um sistema de comando e controlo por intermédio dos contactores de subida e de descida e dos relés do travão electromecânico, efectuado pelo variador de frequência através do envio de sinais digitais, de modo a comandar o relé de sentido de movimento de subida, de descida e os relés do travão electromecânico, utilizando encoder ao veio do motor eléctrico e outro ao longo da caixa do elevador para se poder comparar a posição da cabina com a do veio do motor eléctrico, em que o PLC faz apenas de selector de patamares;
 - Introduzir um encoder ao veio do motor eléctrico e um outro ao longo da caixa do elevador, para que a posição da cabina possa ser comparada com a do motor eléctrico, e quando existir uma falha de energia eléctrica da rede, quando da sua reposição, o comando sabe em que posição se encontra a cabina na caixa, não sendo necessário chamá-la ao patamar P0 de reposicionamento do sistema;
 - Desenvolver um sistema de posição da cabina ao patamar por ultra-sons;
 - Introduzir um PLC supervisor que permita a monitorização do estado do elevador, de falhas e avarias, para uma central de comando, podendo este ser comandado e controlado remotamente.
 - Introduzir uma consola de interface homem máquina HMI que permita a monitorização em tempo real do elevador, onde se pode ver de um modo gráfico a cabina a subir ou a descer, em que patamar se encontra, se está entre patamares, se está num dos fins-de-curso e a carga em Kg;
 - Uma vez que a programação concorrente foi implementada no PLC TSX Micro 3721 da *Schneider Electric*, será importante oferecer ao utilizador a sua implementação noutra tipo de PLC.
 - Desenvolver um sistema que caso salte ou se solte uma roçadeira da cabina ou do contrapeso, faça parar o mais rápido possível o elevador dentro das margens de segurança requeridas para a carga, utilizando um sistema de acelerómetros ou equivalente, que meça

a aceleração nos três eixos de posição (X,Y e Z), que possa ser testado e validado no monta-cargas e posteriormente num elevador de testes de uma grande empresa de projecto R&D, para aplicação e implementação prática em elevadores de passageiros de forma a prevenir acidentes graves, tais como, o contrapeso sair das guias ou a cabina.

6 Bibliografia

- António Francisco. (2007). *Autómatos Programáveis*. (ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, Ed.).
- Autostadt. (2014). Car Towers. Retrieved September 14, 2016, from <http://www.autostadt.de/en/explore-the-autostadt/car-towers/>
- BP Elevator. (1981). Diagrams - Geared Traction Elevator. Retrieved September 14, 2016, from <http://www.bpelevator.com/html/Traction.html>
- Burj Mohammed Bin. (2016). 100 Tallest Completed Buildings in the World by Height to Architectural Top.
- CEN. Regras de segurança para o fabrico e instalação de elevadores - Parte 1: Ascensores eléctricos (2000). Portugal: Instituto Português da Qualidade.
- CIA. Telecomunicaciones Aplicadas S.A. (2006). Esquema Potencia 2 Velocidades.
- Claiton Franchi. (2009). *Inversores de Frequência - Teoria e Aplicações*. (Editora Érica Ltda., Ed.).
- Cláudio Barroso. (2002). *Apontamentos das aulas de Electrotecnia II*. Escola Náutica Infante D. Henrique.
- Comportel. (1982). *Comportel - Curso de Ascensores Oleodinâmicos (Hidráulicos)*.
- Comportel. (1983). *Comportel - Descrição de Manobras*.
- Electrical Engineering Portal. (2016). PLC and Ladder (LAD) Logic Diagram. Retrieved September 14, 2016, from <http://electrical-engineering-portal.com/resources/plc-programming-training>
- Gomide, F. A. C., Gudwin, R. R., & Tanscheit, R. (1995). Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. *Proc. 6 Th IFSA Congress-Tutorials*, (July), 1–38.
- Governo Português. Decreto nº 513/70 de 30 de Outubro (1970). Portugal.
- Governo Português. Decreto-Lei nº 295/98 de 22 de Setembro (1998). Portugal.
- José Matias. (1990). *Máquina Eléctricas Corrente Alternada*. (Didáctica Editora, Ed.).
- José Matias . Ludgero Leote. (1991). *Automatismos Industriais -Comando e Regulação*. (Didáctica Editora, Ed.).
- José Sousa. (2013). *Noções Básicas de Elevadores e Escadas Mecânicas*. (ThyssenKrupp, Ed.). ThyssenKrupp.
- Kone. (2013). Kone UltraRope. Retrieved from <http://download.kone.com/ultrarope/index.htm>
- Laura Schumm. (2014). Who invented the elevator? Retrieved September 14, 2016, from <http://www.history.com/news/ask-history/who-invented-the-elevator>
- Luís Baptista. (2012). Instrumentação e Controlo. Escola Náutica Infante D. Henrique.
- Luís Baptista. (2013). Automação - Autómatos Programáveis. Escola Náutica Infante D. Henrique.
- Luís Palma. (2014a). Automação Industrial - Programação Concorrente de Autómatos. Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Luís Palma. (2014b). Automação Industrial - Programação do Autómato TSX 3721 - Linguagem IL.

- Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Luís Palma. (2014c). Automação Industrial - Programação do Autómato TSX 3721 - Linguagem SFC (G7). Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Luís Palma. (2014d). Automação Industrial - Programação do Autómato TSX 3721 - Linguagem ST. Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Luís Palma. (2014e). Automação Industrial - Programação do Autómato TSX 3721 -Linguagem LD. Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Luís Palma. (2014f). Automação Industrial - Programação dos Autómatos TSX3721 e Twido - Introdução.
- Luís Palma. (2014g). Automação Industrial – Controladores Lógicos Programáveis (PLC's). Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Mário Ventim Neves. (2016). Máquina de Indução (Máquina Assíncrona). Universidade Nova de Lisboa - FCT - DEE.
- Mitsubishi Electric. (2016a). Earthquake Emergency Return Operations. Retrieved September 14, 2016, from http://www.mitsubishielectric.com/elevator/overview/elevators/e_operations03.html#e_ope03_02
- Mitsubishi Electric. (2016b). Fire Emergency Return Operation. Retrieved September 14, 2016, from http://www.mitsubishielectric.com/elevator/overview/elevators/e_operations02.html
- Mitsubishi Electric. (2016c). History of the Elevator. Retrieved September 14, 2016, from <http://www.mitsubishielectric.com/elevator/overview/elevators/history.html>
- Newton Braga. (2009). Como funciona o Reed Switch. Retrieved September 14, 2016, from <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/2462-art373>
- OMRON. (2007). O Novo Variador V1000.
- OMRON. (2014). Autómatos Programáveis, 1–77.
- Portal Eletricista. (2013). Tipos de Motores de indução (Assíncronos). Retrieved September 14, 2016, from <http://www.portaleletricista.com.br/motores-de-inducao/>
- Rexroth. (2009). Understanding the IEC61131-3 Programming Languages. *Control Engineering*, 6.
- Robert Caporale. (2016). Why do some skyscraper elevators run at slower speeds on windy days? Retrieved September 14, 2016, from <https://www.quora.com/Why-do-some-skyscraper-elevators-run-at-slower-speeds-on-windy-days>
- Schneider Electric. (1997). *Reference Manual - PL7 Micro/Junior/Pro*. (S. Electric, Ed.) (Vol. II). Schneider Electric.
- Schneider Electric. (2003). Automation platform Modicon TSX Micro and PL7 software.
- Schneider Electric. (2007). Altivar 31.
- Thyssen Aufzüge. (2010). New Efficiency. Thyssen Destination Selection Control DSC for Elevator

Groups.

Thyssenkrupp Elevator. (2012). Twin: Fact Sheet ST 61, 1–20.

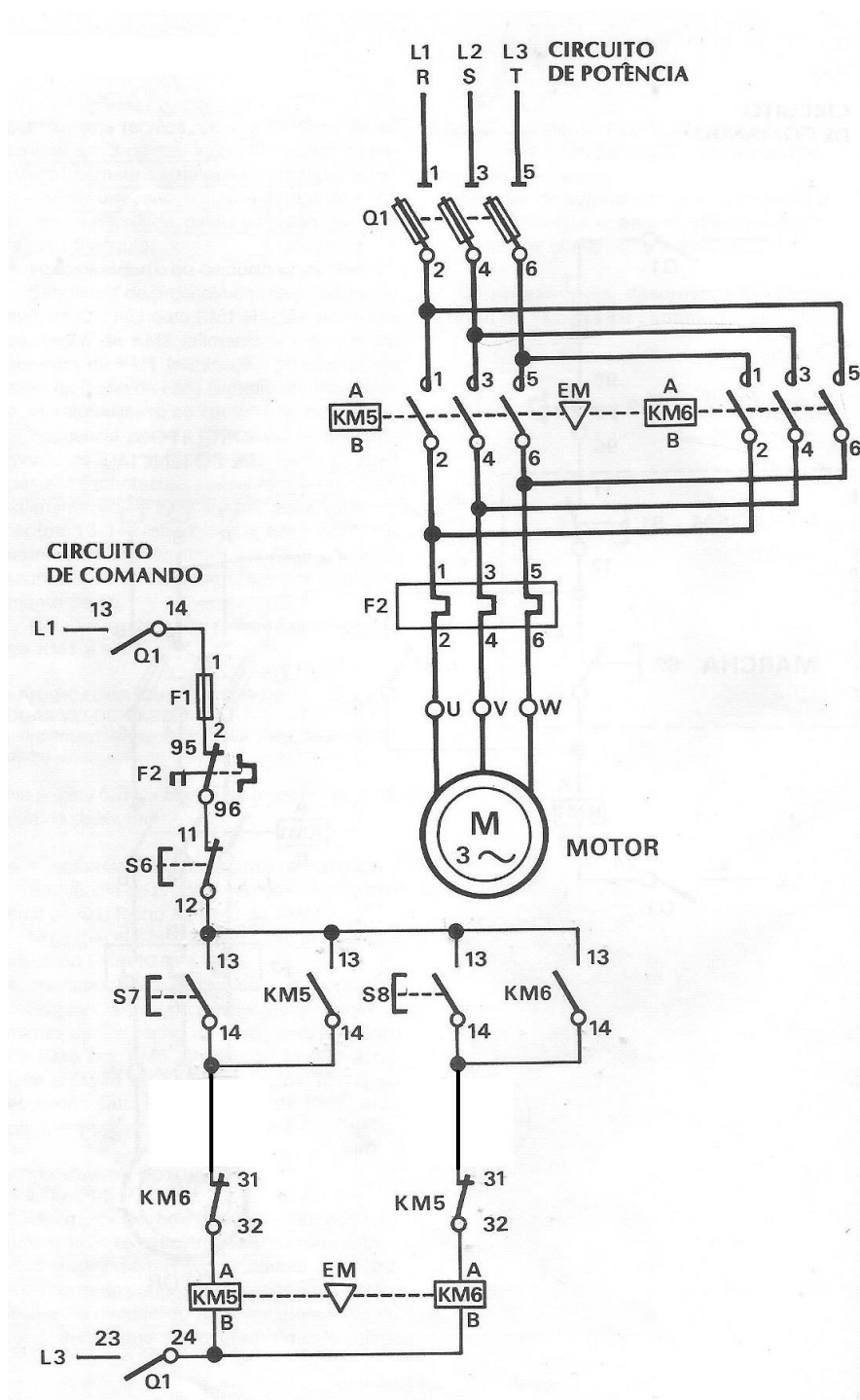
Thyssenkrupp Elevator. (2014). Twin: 2 cabs, 1 shaft, 0 crowds.

Von Marion Goldmann. (2011). Aufzug mit Ausblick. Retrieved September 14, 2016, from <http://dabonline.de/tag/aufzug/>

Wolfgang Christ. (2009). *Access for All: Approaches to the Built Environment*. Birkhauser.

Anexo A - Inversor Motor Assíncrono Trifásico

Esquema do circuito inversor do motor assíncrono trifásico (baseado em José Matias . Ludgero Leote, 1991).



Apêndice A - Memórias utilizadas, palavras internas e de sistema e temporizador de pulso.

Endereço no PLC/Abreviatura	Tipo	Bit	Função	Descrição
%M0	Memória Binária	Interno	Inerente ao botão B0 (%I1.0)	Os bits internos permitem armazenar os estados intermédios durante a execução do programa
%M1	Memória Binária	Interno	Acto de premir o botão B1 (%I1.1)	idem
%M2	Memória Binária	Interno	Acto de premir o botão B2 (%I1.2)	idem
%M6	Memória Binária	Interno	Não utilizada	idem
%M7	Memória Binária	Interno	Não utilizada	idem
%M11	Memória Binária	Interno	Inerente ao botão PE (%I1.3) e ao botão B0 (%I1.0)	idem
%M12	Memória Binária	Interno	Seleção do botão B1 (%I1.1) face a B2	idem
%M21	Memória Binária	Interno	Seleção do botão B2 (%I1.2) face a B1	idem
%MW3	Memória Palavra Interna	Extracto de palavra	Estado do movimento – parado, subida ou descida	Extracção de um dos 16 bits de um objecto palavra
%MW5	Palavra Interna	Extracto de palavra	Serve para contagem – incremento/decremento de 1 unidade	idem
%MW8	Palavra Interna	Extracto de palavra	Atribui a frequência de referência a %QW5.4	idem
%MW58	Palavra Interna	Extracto de palavra	Serve para a extracção do bit menos significativo de %SW58	idem
%MW67	Palavra Interna	Extracto de palavra	Serve para contagem – incremento/decremento de 1 unidade	idem
%SW58	Palavra de Sistema	-	Código da última paragem	O bit menos significativo contém o código para a última paragem: 0004 = falta de energia
%TM1	Temporizador de pulso	-	Escolha da sequência de funcionamento	-

Apêndice B - Interação entre todas as variáveis

[illegible]

Apêndice C - Códigos implementados em SFC/IL e ST

Diagramas de SFC/IL da Sequência Principal (Page 0) e da Sequência de Funcionamento 1 (Page 1).

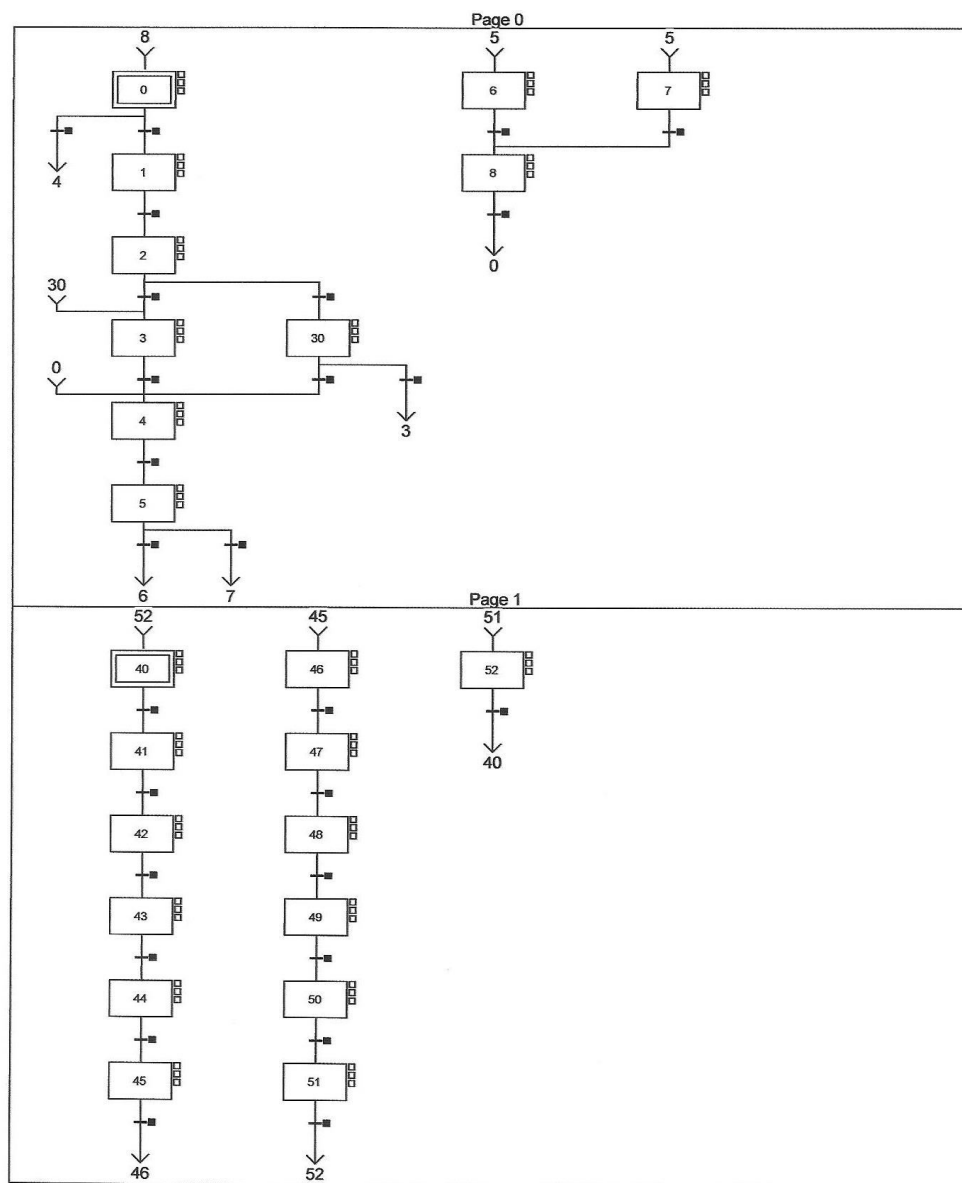
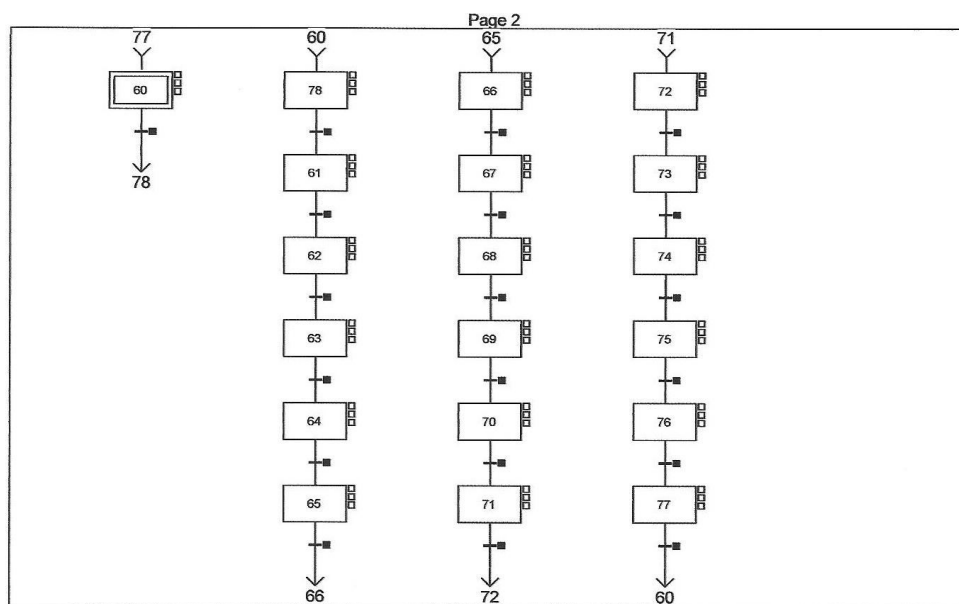


Diagrama de SFC/IL da Sequência de Funcionamento 2 (Page 2).



Tratamento Posterior

0001:	!	LD	%X3
0002:		OR	%X43
0003:		OR	%X44
0004:		OR	%X45
0005:		OR	%X46
0006:		OR	%X63
0007:		OR	%X64
0008:		OR	%X65
0009:		OR	%X66
0010:		ST	%Q2.1
0011:		LD	%X30
0012:		OR	%X48
0013:		OR	%X49
0014:		OR	%X50
0015:		OR	%X51
0016:		OR	%X68
0017:		OR	%X69
0018:		OR	%X70
0019:		OR	%X71
0020:		OR	%X73
0021:		OR	%X74
0022:		OR	%X75
0023:		OR	%X76
0024:		ST	%Q2.0
0025:		LD	%X3
0026:		OR	%X43
0027:		OR	%X44
0028:		OR	%X45
0029:		OR	%X46
0030:		OR	%X63
0031:		OR	%X64
0032:		OR	%X65
0033:		OR	%X66
0034:		OR	%X30
0035:		OR	%X48
0036:		OR	%X49
0037:		OR	%X50
0038:		OR	%X51
0039:		OR	%X68
0040:		OR	%X69
0041:		OR	%X70
0042:		OR	%X71
0043:		OR	%X73
0044:		OR	%X74
0045:		OR	%X75
0046:		OR	%X76
0047:		ST	%Q2.2
0048:		ST	%Q2.3

Código em Texto Estruturado (Sheet: 1).

```

!

(* "LS-byte" de falha de energia *)
IF %X0 THEN %SW58:=16#0000;END_IF;
%MW58:=%SW58 AND 16#00FF;

(* ... *)
IF(%X0 OR %X1 OR %X2 OR %X4 OR %X5 OR %X6 OR %X7 OR %X8 OR %X40 OR %X41 OR %X42
OR %X46 OR %X47
OR %X51 OR %X52 OR %X60 OR %X78 OR %X61 OR %X62 OR %X66 OR %X67 OR %X71 OR %X72
OR %X76 OR %X77)
THEN %MW8:=0;
END_IF;
IF(%X3 OR %X30 OR %X43 OR %X45 OR %X48 OR %X50 OR %X63 OR %X65 OR %X68 OR %X70
OR %X73 OR %X75)
THEN %MW8:=1;
END_IF;
IF(%X44 OR %X49 OR %X64 OR %X69 OR %X74)
THEN %MW8:=2;
END_IF;

(*Atribuicao das frequencias*)

IF(%MW8=0) THEN %QW5.4:=0;END_IF;
IF(%MW8=1) THEN %QW5.4:=2900;END_IF;
IF(%MW8=2) THEN %QW5.4:=8500;END_IF;

(* Memórias binárias 0,1 *)
(* ... *)
IF %I1.0 THEN SET %M0;END_IF;
IF %I1.1 THEN SET %M1;END_IF;
IF %I1.2 THEN SET %M2;END_IF;

(* Tempo disponivel para a seleccao de sequencia de pisos *)
IF(%MW5=0)AND((%I1.0)OR(%I1.1)OR(%I1.2)) THEN START %TM1;END_IF;
IF(%TM1.V<=%TM1.P) THEN
IF %I1.1 AND NOT(%M2) THEN SET %M12;END_IF;
IF %I1.2 AND NOT(%M1) THEN SET %M21;END_IF;
END_IF;
IF(%TM1.V=%TM1.P) THEN DOWN %TM1;END_IF;
(* ... *)

(* Programacao das memorias %MW67, %M6 e %M7*)
IF(%I1.6 AND %I1.7 AND NOT %I1.8 AND %I1.9) THEN %MW67:=0;END_IF;
IF(%MW3=1) THEN
IF FE %I1.7 THEN %MW67:=%MW67+1;END_IF;
END_IF;
IF(%MW3=0) THEN
IF FE %I1.6 THEN %MW67:=%MW67-1;END_IF;
END_IF;
IF(%MW67=1)OR(%MW67=2) THEN SET %M6;END_IF;
IF(%MW67=3)OR(%MW67=4) THEN SET %M7;END_IF;
IF(%I1.6 AND %I1.7 AND NOT %I1.8 AND %I1.9)OR((%MW67=3)OR(%MW67=4)) THEN RESET %M
6;END_IF;
IF(%I1.6 AND %I1.7 AND NOT %I1.8 AND %I1.9)OR((%MW67=1)OR(%MW67=2)) THEN RESET %M
7;END_IF;

(* ... *)
IF NOT %I1.3 THEN SET %M11;END_IF;
(* ... *)
(* reset %M *)
IF FE %I1.8 THEN RESET %M0;RESET %M1;RESET %M2;RESET %M12;RESET %M21;END_IF;

```

Código em Texto Estruturado (Sheet: 2).

```
IF %I1.0 THEN RESET %M11;END_IF;

(* Memórias do tipo palavras / "word": 0,1,2,3,... *)
(* piso 0 *)
IF NOT %I1.8 AND %I1.9 THEN %MW5:=0;END_IF;
(* piso 1 *)
IF %I1.6 AND %I1.7 AND %I1.8 AND %I1.9 AND(%MW5=0) THEN %MW5:=%MW5+1;END_IF;
(* piso 2 *)
IF %I1.6 AND %I1.7 AND %I1.8 AND NOT %I1.9 AND(%MW5=1) THEN %MW5:=%MW5+1;END_IF;
(* piso 1 *)
IF %I1.6 AND %I1.7 AND %I1.8 AND %I1.9 AND(%MW5=2) THEN %MW5:=%MW5-1;END_IF;
(* piso 0 *)
IF NOT %I1.8 AND %I1.9 AND(%MW5=1) THEN %MW5:=%MW5-1;END_IF;

(* Estado de movimento: parado, subida, ou descida *)
IF %Q2.0 THEN %MW3:=0;END_IF;
IF %Q2.1 THEN %MW3:=1;END_IF;
IF(%QW5.4=0) THEN %MW3:=2;END_IF;
```

Transições dos diagramas de SFC em Lista de Instruções

PAGE 0 %X(0) → %X(1)
LD %I1.0
(B0)

PAGE 0 %X(0) → %X(4)
LD %I1.6
AND %I1.7
ANDN %I1.8
AND %I1.9
(AF•AT•BF•BT)

PAGE 0 %X(1) → %X(2)
LDN %I1.6
ORN %I1.7
OR %I1.8
ORN %I1.9
(/AF+/AT+BF+/BT)

PAGE 0 %X(2) → %X(3)
LDN %I1.5
AND [%X2.T≥40]
(/FCI•t/2/4s)

PAGE 0 %X(2) → %X(30)
LD %I1.5
AND [%X2.T≥40]
(FCI•t/2/4s)

PAGE 0 %X(3) → %X(4)
LD %I1.6
AND %I1.7
ANDN %I1.8
AND %I1.9
(AF•AT•BF•BT)

PAGE 0 %X(30) → %X(4)
LD %I1.6
AND %I1.7
ANDN %I1.8
AND %I1.9
(AF•AT•BF•BT)

PAGE 0 %X(30) → %X(3)
LDN %I1.5
(/FCI)

PAGE 0 %X(4) → %X(5)
LD [%MW5=0]
(MW5=0)

PAGE 0 %X(5) → %X(6)
 LD %M1
 ANDN %M2
 AND %M12
 ANDN %M21
 (M1•/M2•M12•/M21)

PAGE 0 %X(5) → %X(7)
 LD %M1
 AND %M2
 ANDN %M12
 AND %M21
 (M1•M2•/M12•M21)

PAGE 0 %X(6) → %X(8)
 LD %X52
 (X52)

PAGE 0 %X(7) → %X(8)
 LD %X77
 (X77)

PAGE 0 %X(8) → %X(0)
 LD TRUE
 (=1)

PAGE 1 %X(40) → %X(41)
 LD %X6
 AND [%X6.T>=40]
 (X6•t/6/4s)

PAGE 1 %X(41) → %X(42)
 LD %I1.6
 AND %I1.7
 ANDN %I1.8
 AND %I1.9
 (AF•AT•BF•BT)

PAGE 1 %X(42) → %X(43)
 LD [%MW5=0]
 (MW5=0)

PAGE 1 %X(43) → %X(44)
 LDF %I1.7
 (↓ AT)

PAGE 1 %X(44) → %X(45)
 LDF %I1.7
 AND [%MW67=1]
 (↓ AT·MW67=1)

PAGE 1 %X(45) → %X(46)
 LD %I1.6
 AND %I1.7
 AND %I1.8
 AND %I1.9
 (AF•AT•BF•BT)

PAGE 1 %X(46) → %X(47)
 LD [%MW5=1]
 (MW5=1)

PAGE 1 %X(47) → %X(48)
 LD [%X47.T>=40]
 (t/47/4s)

PAGE 1 %X(48) → %X(49)
 LDF %I1.6
 (↓ AF)

PAGE 1 %X(49) → %X(50)
 LDF %I1.6
 AND [%MW67=1]
 (↓ AF• MW67=1)

PAGE 1 %X(50) → %X(51)
 LD %I1.6
 AND %I1.7
 ANDN %I1.8
 AND %I1.9
 (AF•AT•BF•BT)

PAGE 1 %X(51) → %X(52)
 LD [%MW5=0]
 (MW5=0)

PAGE 1 %X(52) → %X(40)
 LD TRUE
 (=1)

PAGE 2 %X(60) → %X(78)
 LD %X7
 AND [%X7.T>=40]
 (X7• t/7/4s)

Page 2 %X(78) → %X(61)
 LD %I1.6
 AND %I1.7
 ANDN %I1.8
 AND %I1.9
 (AF•AT•BF•BT)

PAGE 2 %X(61) → %X(62)
LD [%MW5=0]
(MW5=0)

PAGE 2 %X(62) → %X(63)
LD TRUE
(=1)

PAGE 2 %X(63) → %X(64)
LDF %I1.7
(↓ AT)

PAGE 2 %X(64) → %X(65)
LDF %I1.7
AND [%MW67=3]
(↓ AT•MW67=3)

%X(65) → %X(66)
LD %I1.6
AND %I1.7
AND %I1.8
ANDN %I1.9
(AF•AT•BF•BT)

PAGE 2 %X(66) → %X(67)
LD [%MW5=2]
(MW5=2)

PAGE 2 %X(67) → %X(68)
LD [%X67.T>=40]
(t/67/4s)

PAGE 2 %X(68) → %X(69)
LDF %I1.6
(↓ AF)

PAGE 2 %X(69) → %X(70)
LDF %I1.6
AND [%MW67=3]
(↓ AF•MW67=3)

PAGE 2 %X(70) → %X(71)
LD %I1.6
AND %I1.7
AND %I1.8
AND %I1.9
(AF•AT•BF•BT)

PAGE 2 %X(71) → %X(72)
LD [%MW5=1]
(MW5=1)

PAGE 2 %X(72) → %X(73)
LD [%X72.T>=40]
(t/72/4s)

PAGE 2 %X(73) → %X(74)
LDF %I1.6
(↓ AF)

PAGE 2 %X(74) → %X(75)
LDF %I1.6
AND [%MW67=1]
(↓ AF•MW67=1)

PAGE 2 %X(75) → %X(76)
LD %I1.6
AND %I1.7
ANDN %I1.8
AND %I1.9
(AF•AT•BF•BT)

PAGE 2 %X(76) → %X(77)
LD [%MW5=0]
(MW5=0)

PAGE 2 %X(77) → %X(60)
LD TRUE
(=1)

Apêndice D - Projecto Mecânico

Nesta secção descrevem-se as considerações que condicionaram o projecto mecânico a nível de dimensionamento e cálculos do elevador monta-cargas protótipo.

Dimensionamento da estrutura metálica autoportante

Para construir o elevador monta-cargas foi necessário saber quais as suas especificações funcionais e tecnológicas a nível do processo e automatismo. O número de patamares (pisos) de funcionamento, o comando do motor eléctrico de tracção por variação de velocidade e a altura da sala (pé-direito) onde o elevador ficou, foram determinantes no dimensionamento do curso útil do elevador e altura da estrutura metálica autoportante de suporte do elevador onde estão instalados todos os elementos constituintes da instalação mecânica e eléctrica.

Como é de interesse do ponto de vista de programação ter mais de dois patamares (pisos) de funcionamento para ser possível observar o comportamento do elevador a nível de arranque/paragem, aceleração/desaceleração da cabina entre patamares e do ponto de vista de segurança, e sendo a altura da sala (pé-direito) um obstáculo físico limitativo do número de patamares de funcionamento do elevador, optou-se por se escolher três patamares de funcionamento.

Outros factores condicionantes de extrema importância foram a inexistência de recursos materiais e os poucos meios monetários para a construção da infraestrutura física de toda a instalação, excepto no que respeita à maior parte do *hardware* de material eléctrico.

Através do contacto com pessoas de diferentes sectores da indústria, os recursos materiais que não foram possíveis comprar foram supridos com a oferta dos mesmos.

Tendo em conta todos os factores condicionantes descritos, começou-se por efectuar a planta da caixa do elevador assim que foram reunidos os recursos materiais iniciais. Estes recursos foram uma sobra de perfil de aço tubular de secção quadrada de pequenas dimensões, uma sobra de guia de pequenas dimensões de um elevador monta-cargas, uma roçadeira e três peças de suporte de fixação da guia de elevador à estrutura tubular da caixa.

Recorreu-se ao aço tubular de secção quadrada por ter características de resistência mecânica e à flexão/torção que permitem aguentar as cargas estáticas e dinâmicas resultantes de toda a instalação. A ideia foi tirada do recurso ao aço para construção naval e para instalações de elevadores cuja caixa em betão é inexistente.

Optou-se pela colocação da máquina de tracção no cimo da caixa e suspensão do tipo directa (relação 1:1), por motivo de maior simplicidade de projecto, montagem, manutenção e segurança, evitando o uso de rodas de desvio.

Começou-se por medir as dimensões de todos os elementos (recursos) e colocá-los fisicamente de cima do papel para confirmar a sua disposição física no seu cômputo. Após isto, foram desenhados no papel à escala real. Foi tido em consideração a distância da folga entre o interior da roçadeira da

cabina e o exterior da guia que faz o guiamento. Definiu-se a área máxima da cabina para suportar todos os sensores inerentes, material eléctrico, roçadeiras e carga nominal tendo em consideração os recursos económicos. Depois de definida a área da cabina, definiu-se a distância do entre guias da cabina. Como posteriormente foi oferecida uma cabina pré-montada fizeram-se as necessárias adaptações tendo também em consideração o sistema de suspensão e fixação à cabina e a manutenção deste. Após o dimensionamento inicial da área máxima da cabina, arbitrou-se uma folga mínima entre a cabina e o contrapeso de 50 mm. Arbitrou-se a dimensão da profundidade do contrapeso e as dimensões interiores de toda a estrutura atrás da caixa do elevador. Atrás da caixa do elevador deixou-se área suficiente para colocar um computador de formato rectangular.

Inicialmente o elevador deveria ser instalado num rack com altura de 2000 mm. Posteriormente, optou-se pela instalação do mesmo numa estrutura metálica autoportante à parte especialmente concebida para o efeito.

Após a escolha de três patamares de funcionamento e como se pretende observar o arranque/paragem da cabina, as curvas ou degraus de aceleração/desaceleração e velocidade nominal entre patamares, decidiu-se aumentar a distância entre patamares (pisos) de funcionamento da cabina aumentando o curso útil do elevador. Deste modo, optou-se por um comprimento de guias de 2300 mm o que levou ao aumento da altura da estrutura tubular autoportante de 2000 mm para 2300 mm.

Outro factor condicionante da escolha da distância entre patamares foi a velocidade nominal (máxima de viagem) da cabina. Como em Portugal a velocidade nominal mais baixa de um elevador residencial é 0,60 m/s e como à partida era sabido que o motor eléctrico da máquina de tracção do elevador monta-cargas protótipo seria comandado por variador de frequência, para fins de projecto, nesta altura inicial, estimou-se uma velocidade nominal máxima de 0,50 m/s sendo esta calculada assim que se obteve a máquina de tracção.

Apesar da máquina de tracção há data ainda não existir continuou-se com a escolha ponderada que seria montada no cimo da caixa tendo em conta a distância livre entre o topo da estrutura/máquina de tracção e o tecto da sala para se poder trabalhar convenientemente na instalação e manutenção do elevador nomeadamente de modo a facilitar a operação de montagem/desmontagem da máquina de tracção do ponto de vista de manutenção em termos futuros.

Para além do supra citado, foi tido em consideração todo o volume necessário à montagem de dois quadros eléctricos na parte lateral direita exterior à caixa compreendendo 2/3 da altura desta. O restante 1/3 na base da estrutura metálica auto-portante tubular foi deixado livre para a simulação de uma porta de cabina e de patamar de elevador com o respectivo quadro de controlo com variador de frequência, motor eléctrico, sensores e outros dispositivos electromecânicos.

Na frente da estrutura metálica autoportante tubular foi prevista a instalação de futuros quadros e/ou componentes eléctricos. Não foi esquecido o volume para um monitor e teclado de computador.

Cálculo da Velocidade Nominal e Selecção da Roda de Aderência

O cálculo da velocidade nominal do elevador monta-cargas protótipo só foi possível após a obtenção da máquina de tracção.

A máquina de tracção obtida para o elevador protótipo foi a de abertura/fecho de um portão (que deixou de existir). A Figura D.1 mostra a chapa de características do motor da máquina de tracção.



Figura D.1 – Chapa de Características do motor de tracção

Por ser desconhecida a relação da caixa redutora de velocidade, arbitrou-se para efeitos de cálculo a relação de caixa igual a 1:40 por ser usual para este tipo de máquinas de abrir/fechar portões.

Após a obtenção da máquina de tracção obtiveram-se a cabina e o contrapeso. Foi necessário calcular a distância entre os centros de suspensão da cabina e contrapeso, considerando-se estes iguais aos respectivos centros de massa. Para este cálculo, também foi necessário ter em consideração a distância mínima de folga entre a cabina e o contrapeso igual ou superior à considerada anteriormente até à data de 50 mm.

A distância entre centros de suspensão e a folga entre a cabina e o contrapeso foram aspectos condicionantes na escolha do diâmetro primitivo da roda de aderência, o qual influencia a velocidade nominal da cabina. Após alguns cálculos para rodas de aderência de diâmetro diferente, optou-se por uma roda de aderência de diâmetro de 200 mm para evitar o uso de roda de desvio e o projecto e montagem serem mais simples e menos morosos. Aproveitou-se uma roda tensora que foi adaptada para roda de aderência. De seguida, descrevem-se os cálculos efectuados para a selecção da roda de aderência e velocidade nominal da cabina.

Conhecida a velocidade de rotação do motor eléctrico assíncrono trifásico da máquina de tracção, $N_m = 1400$ [r.p.m.], foi necessário converter esta para a respectiva velocidade angular da seguinte maneira:

$$1 \text{ rpm} = 2\pi \text{ [rad/min]} = \frac{2\pi}{60} \text{ [rad/s]} = 0,10472 \text{ [rad/s]}$$

Deste modo:

$$N_m = 1400 \text{ [rpm]} = 146,608 \text{ [rad/s]}$$

Arbitrando a relação da caixa redutora de velocidade $i_{cx} = 1:40 = \frac{1}{40}$ e juntamente com a velocidade de rotação N_m , substituindo na expressão seguinte:

$$i_{cx} = \frac{N_{scx}}{N_m} = \frac{\omega_{scx}}{\omega_m}$$

Equação D.1 – Relação da caixa redutora de velocidade

Calculamos o valor da velocidade de rotação à saída da caixa $N_{scx} = 35 \text{ rpm} = 3,665 \text{ rad/s}$.

Como $v = \omega \cdot r$, temos que para a velocidade de rotação de saída da caixa $N_{scx} = 3,665 \text{ rad/s}$ e para um raio de $r = \frac{0,200}{2} = 0,100 \text{ m}$, temos uma velocidade linear $v = 0,3665 \text{ m} \approx 0,37 \text{ m}$.

Uma vez que um dos testes de funcionalidade descrito na subsecção 4.3.2 foi determinar a velocidade nominal do elevador monta-cargas por intermédio da expressão $v = \frac{d}{t}$ cujo resultado aproximado deu $0,29 \text{ m/s}$ e um outro, foi medir a velocidade por intermédio de um tacómetro, a qual foi de $0,28 \text{ m/s}$, conclui-se que os cálculos iniciais estão ligeiramente acima do valor real medido.

Dimensionamento de Distâncias Relacionadas com as Guias

O dimensionamento da distância entre as guias da cabina e do contrapeso, do entre guias da cabina e do entre guias do contrapeso, só foi possível após a obtenção da cabina e do contrapeso por se conhecerem as respectivas dimensões.

O entre guias é a distância entre duas guias da cabina ou do contrapeso colocadas de frente uma com a outra. Esta distância tem de ser igual desde a base até ao topo das guias para possibilitar o guiamento correcto da cabina e contrapeso.

O cálculo da distância do entre guias da cabina foi efectuado após se conhecer a área de projecção da cabina com a horizontal, de se obterem as roçadeiras e de efectuada a estrutura de aço autoportante para fazer o guiamento da cabina e sua suspensão. Após todos os cálculos deu um entre guias de cabina de 382 mm . Para o contrapeso optou-se pela mesma distância de entre guias de 382 mm .

No cálculo do entre guias da cabina foi tida em consideração as dimensões da estrutura tubular adjacente à caixa do elevador, as dimensões das chapas em L das fixações de cada guia e distância média do conjunto que permitem ter folga de ajustamento para a respectiva guia e o entre guias requerido, a folga entre roçadeira e guia de cada lado da cabina, e a arcada da cabina. O mesmo para o contrapeso.

Para o dimensionamento da distância entre as guias da cabina e do contrapeso (distância diferente do entre guias) foi necessário ter em consideração vários factores condicionantes sendo eles a distância de folga entre a cabina e o contrapeso, a distância entre os centros de suspensão da cabina e do contrapeso e o diâmetro primitivo da roda de aderência.

A distância entre os centros de suspensão da cabina e do contrapeso considerou-se igual à distância entre os respectivos centros de massa. A distância entre o centro das guias da cabina e do contrapeso considerou-se igual à distância entre os centros de suspensão da cabina e do contrapeso. A distância

entre os centros de suspensão da cabina e do contrapeso foi dada pelo diâmetro primitivo da roda de aderência. Deste modo, não foi necessário a utilização de roda de desvio o que facilitou o projecto e montagem, tornando-os menos morosos e mais económicos face aos escassos recursos monetários.

Foi tido em consideração que as guias têm comprimento suficiente para as roçadeiras não saírem fora delas, tendo sido calculada a altura da mola da cabina e do contrapeso, e o comprimento do cabo de suspensão, para evitar isto juntamente com o comprimento das guias.

Máquina de Tracção

Como referido anteriormente, a máquina de tracção obtida para o elevador protótipo em causa foi a de abertura/fecho de um portão, sendo constituída por motor eléctrico assíncrono trifásico, travão (freio) electromecânico de disco cuja bobina é alimentada a tensão contínua, ventilador e caixa redutora. Posteriormente, adicionou-se a roda de aderência aproveitando um acoplamento existente que vinha com a própria máquina. Deste modo, soldou-se a roda ao acoplamento e abriu-se furação e rosca aparafusando-se por intermédio de quatro parafusos a roda ao acoplamento para garantir uma fixação sólida e segura. A referida roda (dentada) de acoplamento é fixa ao veio da caixa redutora por intermédio de uma chaveta e respectiva ranhura no mesmo.

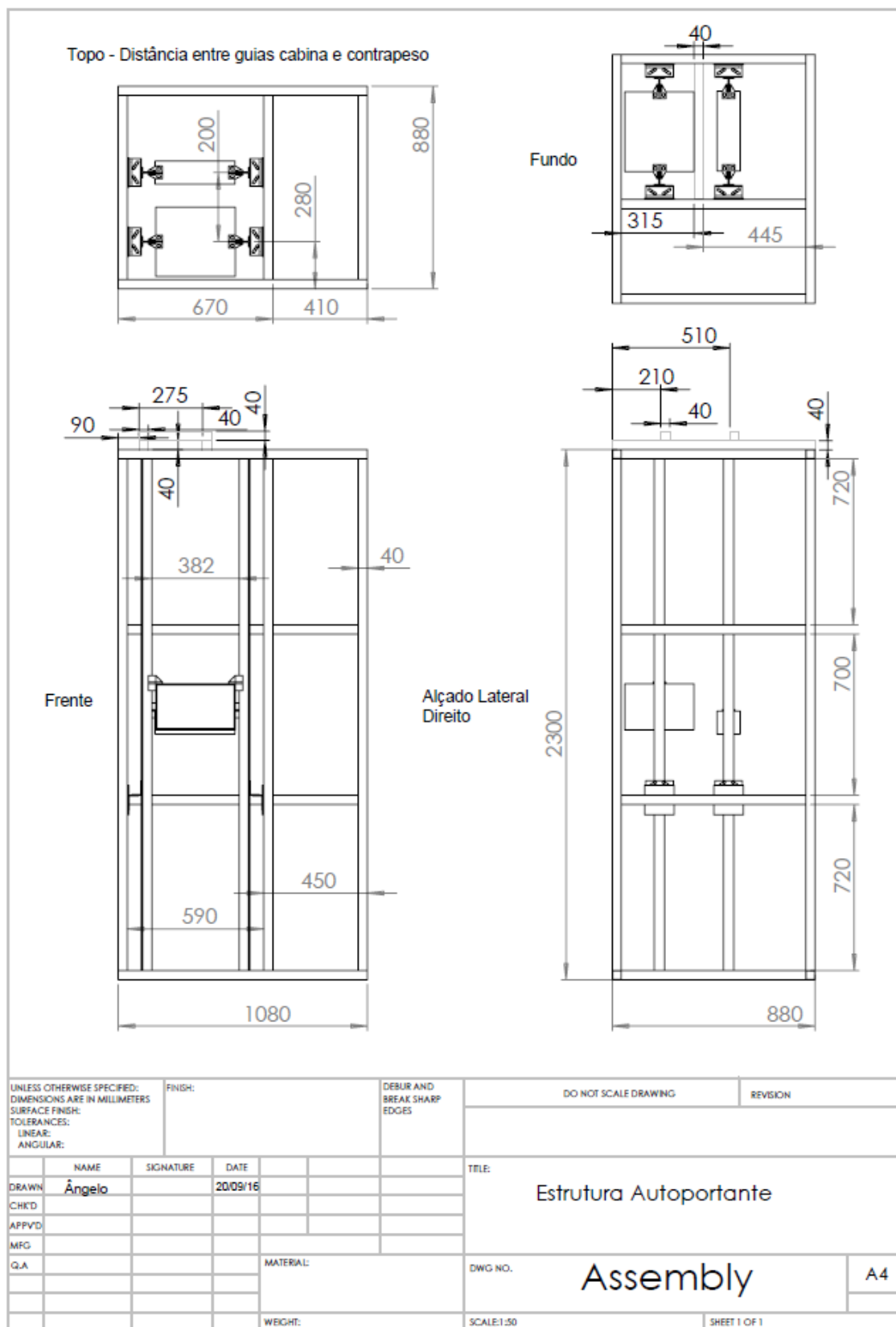
Após a correcta montagem da cabina e do contrapeso nas respectivas guias, garantindo que o centro de suspensão da cabina coincide com o centro da distância de entre guias desta, e que o centro de suspensão do contrapeso coincide com o centro de suspensão da distância do entre guias do contrapeso (Figura D.2), para garantir a correcta montagem da máquina de tracção e do alinhamento do centro do gorne da roda de aderência com o centro da suspensão da cabina do lado desta, e com o centro de suspensão do contrapeso do lado deste, colocou-se um fio-de-prumo do lado da cabina desde o centro do gorne da roda de aderência até o prumo coincidir com o centro de suspensão da cabina, e do mesmo modo, passou-se um outro fio-de-prumo do lado do contrapeso desde o centro do gorne da roda de aderência até o prumo coincidir com o centro de suspensão do contrapeso. Após efectuados estes procedimentos, garantiu-se o correcto alinhamento da máquina de tracção e a sua correcta montagem no cimo da estrutura metálica autoportante.



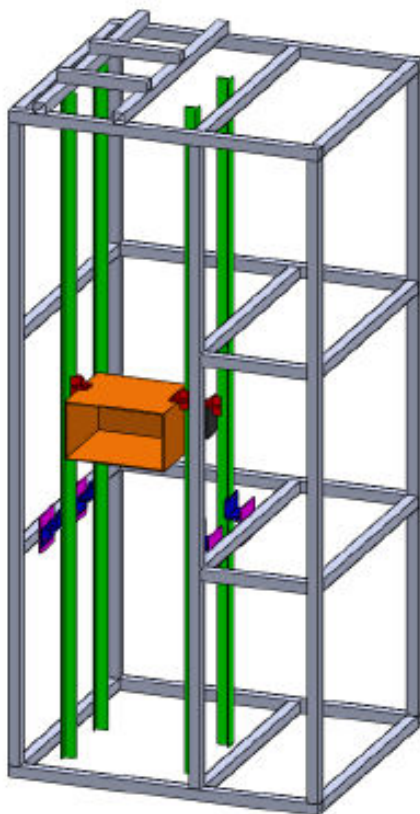
Figura D.2– Alinhamento da máquina de tracção do lado do contrapeso

Apêndice E – Estrutura autoportante

2 Dimensões



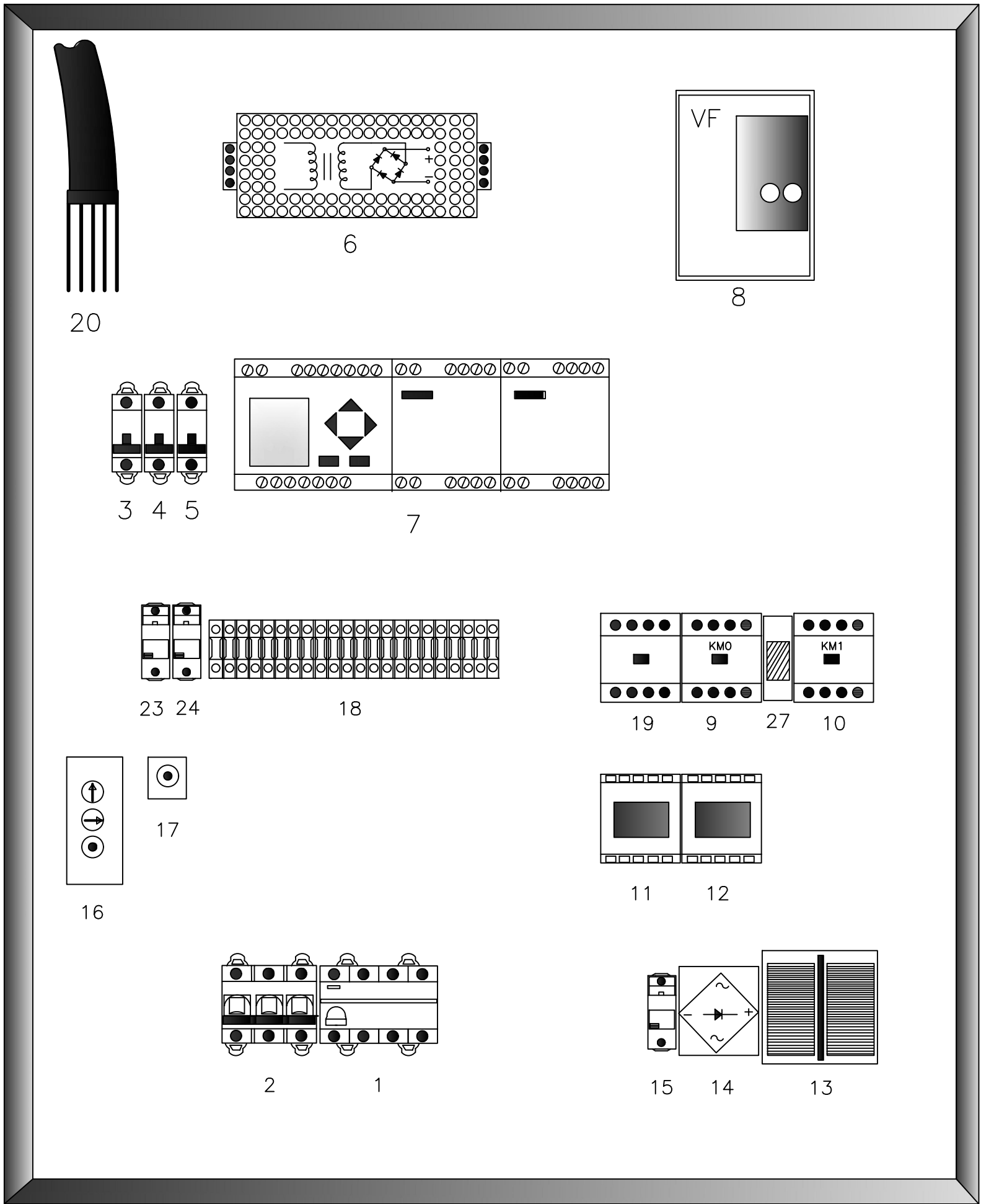
3 Dimensões



Apêndice F - Esquemas de Circuitos Eléctricos do Protótipo de Monta-cargas

Número	Denominação	Abreviatura
1	Interruptor Diferencial Tetrapolar	ID
2	Disjuntor Trifásico	DT
3	Disjuntor Monofásico do Transformador	DMT
4	Disjuntor Monofásico da Fonte de Alimentação	DMFA
5	Disjuntor Monofásico do Controlador Lógico Programável	DMPLC
6	Fonte de Tensão de Alimentação +24 V DC	FA
7	Controlador Lógico Programável (Autómato Programável)	PLC
8	Variador de Frequência	VF
9	Contactor de Descida	KM0
10	Contactor de Subida	KM1
11	Relé Freio 1	KF2
12	Relé Freio 2	KF3
13	Transformador	T
14	Ponte Rectificadora	PR
15	Fusível Freio (Travão)	F3
16	Botoneiras de Pisos e de Rearme ou Pré-inicialização (<i>Reset</i>)	BP
17	Botoneira de Paragem de Emergência	BPE
18	Régua de Bornes	RB
19	Relé Auxiliar	RA
20	Cabo Flexível	CF
21	Fusível de Protecção Ponte Rectificadora lado AC	F1
22	Fusível de Protecção Ponte Rectificadora lado AC	F2
23	Fusível de Protecção Circuitos Botões, de Segurança e Sensores	F4
24	Fusível de Protecção PLC – TSX DMZ 28 DR + 24 V DC	F5
25	Díodo de Roda Livre do Electroímã do Freio (Travão)	DRL
26	Freio (Travão) da Máquina de Tracção	F
27	Encravamento Mecânico	EM
28	Fim de Curso Inferior	FCI
29	Fim de Curso Superior	FCS
30	Paragem de Emergência	PE
31	Botão de Rearme ou Pré-inicialização	B0
32	Botão Piso 1	B1
33	Botão Piso 2	B2
34	Ampola Frente	AF
35	Ampola Trás	AT
36	Biestável Frente	BF
37	Biestável Trás	BT
38	Variador de Frequência – Circuito Principal	VF1
39	Variador de Frequência – Circuito Controlo	VF2
40	Controlador Lógico Programável (PLC) – TSX 3721	TSX 3721
41	Controlador Lógico Programável – Módulo de Entradas/Saídas Digitais	TSX DMZ 28 DR
42	Controlador Lógico Programável – Módulo de Entradas/Saídas Analógicas	TSX AMZ 600

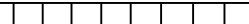
DISPOSIÇÃO DOS COMPONENTES NO QUADRO

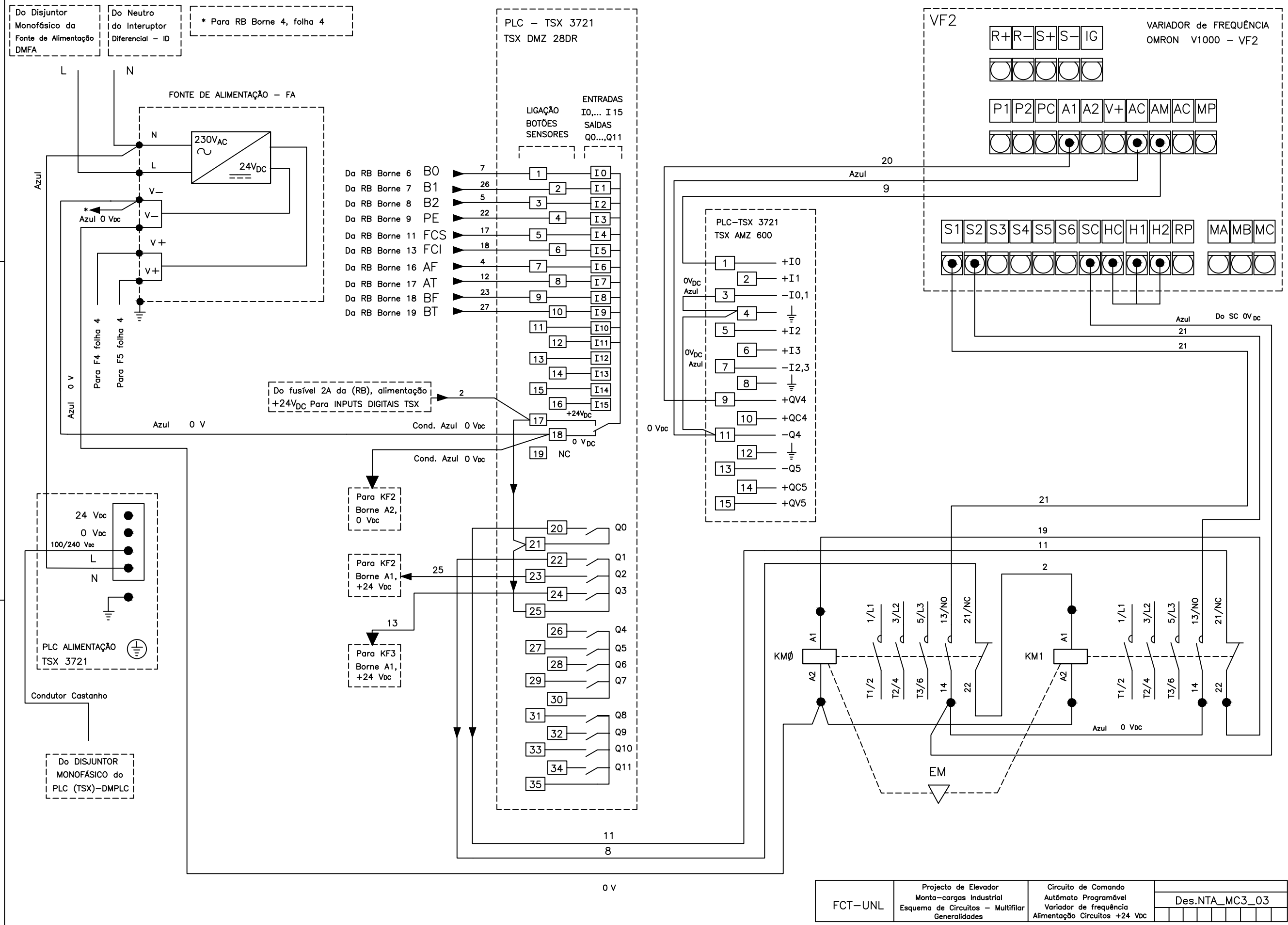


- 1- ID Interruptor Diferencial Tetrapolar
- 2- DT Disjuntor Trifásico
- 3- DMT Disjuntor Monofásico do Transformador
- 4- DMFA Disjuntor Monofásico da Fonte de Alimentação
- 5- DMPLC Disjuntor Monofásico do Autômato Programável
- 6- FA Fonte de Alimentação
- 7- PLC Autômato Programável
- 8- VF Variador de Frequência
- 9- KM0 Contador de Descida
- 10- KM1 Contador de Subida
- 11- KF2 Relé Freio 1
- 12- KF3 Relé Freio 2
- 13- T Transformador
- 14- PR Ponte Rectificadora
- 15- F3 Fusível Freio (travão)

- 16- BP Botoneiras de Pisos e de Reset
- 17- BPE Botoneira paragem de emergência
- 18- RB Régua de bornes
- 19- RA Relé Auxiliar
- 20- CF Cabo Flexível
- 23- F4 Fusível de protecção dos Circuitos de +24 Vdc de botões e sensores
- 24- F5 Fusível de protecção PLC-TSX DMZ 28 DR Circuitos saída e Relé de +24 Vdc
- 27- EM Encravamento Mecânico

FCT-UNL	Projecto de Elevador Monta-cargas Industrial Esquema de Circuitos - Multifilar Generalidades	Disposição dos Componentes no Quadro Eléctrico	Des.NTA_MC3_01							





+24Vdc da Fonte de Alimentação (V+ Cima) para FCI, FCS, PE, B0, B1, B2; para 1ª caixa e 2ª caixa de junção, na cabina através do cabo flexível

+24Vdc da Fonte de Alimentação (V+ Baixo)

Borne - (ou 0 Vdc) da Fonte de Alimentação

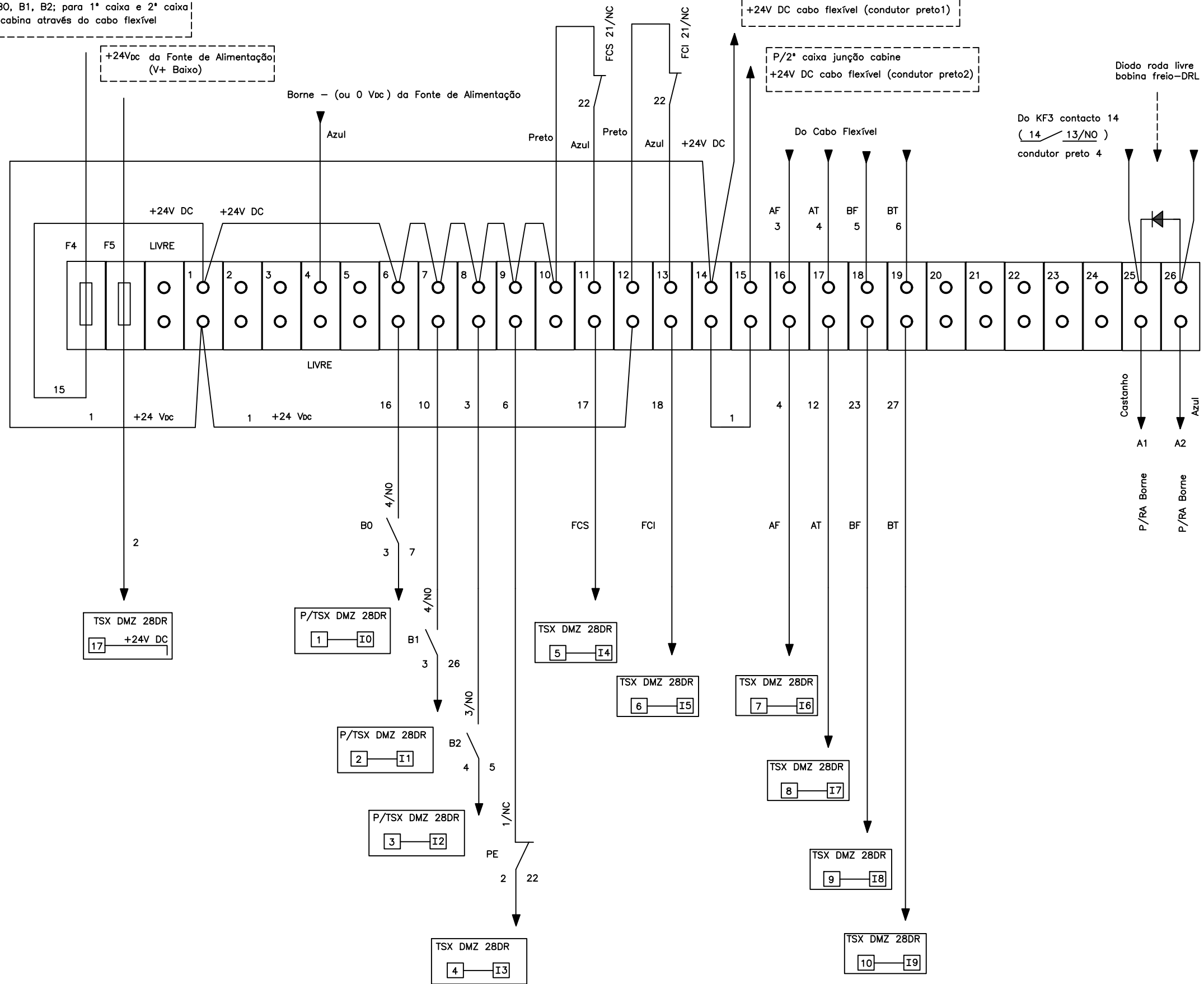
P/1ª caixa junção cabine
+24V DC cabo flexível (condutor preto1)

P/2ª caixa junção cabine
+24V DC cabo flexível (condutor preto2)

Diódodo roda livre
bobina freio-DRL

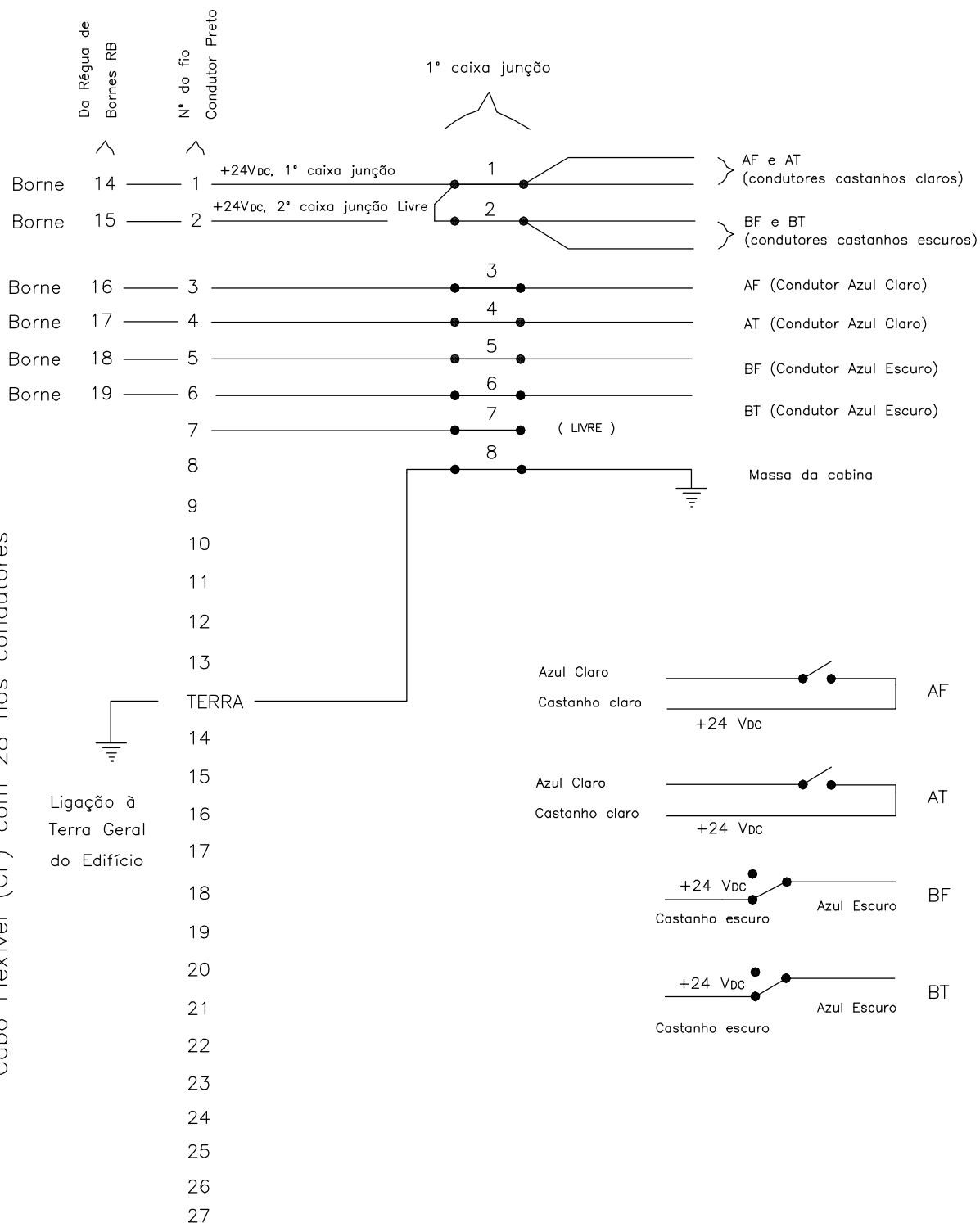
Do KF3 contacto 14
(14 / 13/NO)
condutor preto 4

Do KF3 contacto 44
(44 / 43/NO)
condutor azul



I - Input no TSX DMZ 28DR

Cabo Flexível (CF) com 28 fios condutores



NOTA: AF, AT, BF e BT representados com a cabine entre pisos e sentido de movimento de subida

FCT-UNL	Projecto de Elevador Monta-cargas Industrial Esquema de Circuitos - Multifilar Generalidades	Ligações do Cabo Flexível à 1ª e 2ª Caixas de Junção na cabina Circuitos Sensores de Posição de Cabina	Des.NTA_MC3_05							